

UNIVERSIDAD
AUTONOMA
METROPOLITANA



Casa abierta al tiempo

Azcapotzalco

DIVISIÓN DE CIENCIAS Y ARTES PARA EL DISEÑO
Especialización, maestría y doctorado en diseño

**Diseño de un sistema modular
automatizado para el ahorro de energía
eléctrica en espera, en el sector de la
vivienda media construida
en centros urbanos de México**

Rodrigo Ramírez Ramírez

Tesis para optar por el Grado de Doctor en Diseño

Líneas de investigación:
Arquitectura Bioclimática y Nuevas Tecnologías

Miembros del jurado:

Dra. María Aguirre Tamez
Dr. José Roberto García Chávez
Directores de la tesis

Dr. Ricardo Aguayo González
Dr. Yasuhiro Matsumoto Kuwabara
Dr. Gabriel Salazar Contreras

México D.F.

Septiembre de 2012

AGRADECIMIENTOS

A la Dra. María Aguirre por su paciencia y por todos los consejos, las atinadas observaciones al trabajo y la constante guía que me brindó.

Al Dr. José Roberto García por aceptar guiar el trabajo, por su constante estímulo para llevarlo a término y por comprender mi visión y mi perspectiva de los temas.

A los Doctores Matsumoto, Aguayo y Salazar por sus comentarios que enriquecieron este trabajo y que permitieron mejorar el producto de la investigación.

Al Mtro. Fernando Ramírez por sus invaluable aportaciones en la elaboración de las pruebas y experimentos que requirió este trabajo.

Al Posgrado en Diseño y a las personas que ahí han laborado durante el tiempo de realización de este trabajo, porque sin su constante apoyo no hubiera sido posible concluirlo satisfactoriamente.

A la UAM Azcapotzalco, por acogerme como alumno y como docente, y por dar cabida y respaldo a trabajos como el que aquí se presenta.

AGRADECIMIENTOS

A María Eugenia y Leonel por apoyarme en todos los proyectos que emprendo, por entender mis ausencias e impulsarme a superar los obstáculos que encuentro en el camino.

A Mauricio y Karina porque siempre me han brindado su comprensión y aliento. Gracias por estar ahí en todo momento.

A mis alumnos por permitirme compartir con ellos los conocimientos que he ido adquiriendo al realizar el trabajo, y por ser ellos mismos mis mejores maestros.

A mis compañeros y colegas por su ayuda constante, por alentarme siempre a dar el siguiente paso y por compartir conmigo su verdad.

Índice de la Tesis

Índice de tablas	iv
Índice de figuras	v
Palabras clave y resumen	ix
<i>Keywords and Abstract</i>	x
Introducción	xi

Capítulo 1. Planteamiento	1
1.1 Situación problemática	2
1.2 Problema de diseño	4
1.3 Problema de investigación	5
1.4 Justificación	6
1.5 Objetivos	6
1.6 Supuestos	8
1.7 Alcances	9

MARCO TEÓRICO – CONTEXTUAL

Capítulo 2. Energía	11
2.1 Contexto global	12
2.2 Impacto ambiental y sustentabilidad	14
2.2.1 Reacción mundial	15
2.2.2 Sustentabilidad	19
2.3 Situación en México	26
2.4 Apropiación tecnológica	30
2.5 Energía eléctrica	32
2.6 Sector habitacional	33
2.7 Ahorro energético doméstico	34

Capítulo 3. Estado del Arte de los Sistemas Domóticos	35
3.1 Sistemas de ahorro de energía existentes	36
3.2 Análisis comparativo de sistemas	53

Capítulo 4. Tecnología	57
4.1 Transferencia de tecnología	58
4.2 Apropiación tecnológica	63
4.3 Paradigmas tecnológicos	64
4.3.1 Interconectividad	67
4.3.2 Interoperabilidad	69
4.3.3 Convergencia	69
4.3.4 Usabilidad	71

4.4	Tecnologías de comunicaciones	73
4.5	Tecnologías de control	75
4.6	Tecnologías de interacción hombre-máquina	77

Capítulo 5. Fundamentos Teóricos de Diseño79

5.1	Diseño y objeto diseñado	80
5.1.1	Funciones operativas	83
5.1.1.1	Detección de necesidades	83
5.1.1.2	Principio de operación	85
5.1.2	Funciones prácticas.....	86
5.1.2.1	Interacción hombre-máquina	86
a.	Interfaz	87
b.	Usabilidad.....	91
5.1.3	Funciones expresivas.....	93
5.1.3.1	Funciones indicativas.....	95
5.1.3.2	Funciones simbólicas.....	96
5.1.3.3	Funciones estéticas	97
5.1.4	Funciones económicas	98
5.1.4.1	Factores de producción	100
5.1.4.2	Factores ambientales.....	101
5.1.4.3	Factores comerciales.....	102
5.2	Diseño para la producción	105
5.3	El diseño de lo cotidiano	108
5.4	Diseño y transdisciplina	110

PROPUESTA DE DISEÑO

Capítulo 6. Generación de un sistema integral para el ahorro energético en México112

6.1	Problema de diseño	113
6.2	Objetivos.....	114
6.3	Determinación de elementos del sistema.....	115
6.4	Determinación de funciones y requisitos.....	116
6.4.1	Requisitos prácticos y operativos	119
6.4.2	Requisitos expresivos.....	120
6.4.3	Requisitos económicos.....	121
6.5	Desarrollo de propuesta	116
6.5.1	Proceso creativo.....	123
6.5.2	Síntesis	125
6.5.3	Generación de modelo de pruebas.....	140

7 Capítulo 7. Experimentación	147
7.1 Diseño experimental	149
7.2 Definición de variables	150
7.3 Metodología	151
7.4 Procedimientos de aplicación	155
7.5 Análisis de resultados	160
8 Capítulo 8. Propuesta final	171
8.1 Nivel de diseño alcanzado	172
8.2 Trabajo subsecuente.....	178
Conclusiones.....	179
Fuentes	185

Índice de tablas

Tabla 1. Análisis comparativo de sistemas de ahorro eléctrico.....	54
Tabla 2. Estándares de comunicaciones en el ámbito domótico (Wikipedia, 2009).....	75
Tabla 3. Módulos del sistema y sus funciones operativas.....	116
Tabla 4. Funciones prácticas de los módulos del sistema.	117
Tabla 5. Funciones expresivas del sistema.	118
Tabla 6. Requisitos prácticos del sistema.....	120
Tabla 7. Requisitos expresivos simbólicos y estéticos.	121
Tabla 8. Criterios de diseño aplicados para dar respuesta a los requisitos expre- sivos simbólicos y estéticos.	131
Tabla 9. Análisis comparativo de las propuestas de diseño.....	134
Tabla 10. Procesos y dispositivos involucrados en la operación del sistema.....	138
Tabla 11. Resultados de la Prueba 1	159
Tabla 12. Resultados de la Prueba 2	162
Tabla 13. Resultados de la Prueba 3	163
Tabla 14. Resultados de la Prueba 4	165
Tabla 15. Resultados de la Prueba 5	167
Tabla 16. Resultados de la Prueba 6	170

Índice de figuras

Figura 1. Esquema que ilustra las ramas temáticas que permiten definir el problema de diseño de esta investigación (elaboración propia).	9
Figura 2. Tipos y proporciones de energía producida en México (Elaboración propia basada en SIE-SENER, 2008).....	27
Figura 3. Generación de energía eléctrica producida en México, por fuente (Elaboración propia basada en CFE, 2009).....	27
Figura 4. Demanda de energía eléctrica a nivel nacional, por sector (Elaboración propia basada en SIE, 2009).....	28
Figura 5. Demanda de energía eléctrica a nivel nacional, por sector (Elaboración propia basada en SENER, 2009).....	29
Figura 6. Demanda de energía eléctrica a nivel nacional, por sector (Elaboración propia basada en CFE, 2009).	29
Figura 7. Uso de la energía eléctrica en el sector habitacional en México en Clima Templado (CFE, 2009).	31
Figura 8. Uso de la energía eléctrica en el sector habitacional en México, en Clima Cálido (CFE, 2009).....	31
Figura 9. Panel de control del sistema domótico de BTicino, montado en una placa decorativa serie Living (BTicino, 2010).	38
Figura 10. Diagrama que muestra los dispositivos que pueden usarse para la operación doméstica de un sistema Lutron (Pro-comm, 2009).....	39
Figura 11. Ejemplos de dispositivos Crestron para automatización de viviendas a través de su red infiNET (Crestron, 2010).	42
Figura 12. Diagrama donde se muestran los dispositivos del sistema X10 PRO y su forma de funcionamiento (X10 PRO, 2007).....	43
Figura 13. Ejemplo de dispositivos que utilizan el sistema Insteon (VIP Systems, 2009).....	45
Figura 14. Diferentes monturas para el módulo de control remoto del sistema NiceWay (Nice, 2009).....	47
Figura 15. Módulos del sistema GreenSwitch. El primero de la izquierda, arriba, es el interruptor principal.	49

Figura 16. Placa de apagador doble, sistema Vitrum.	50
Figura 17. Sistema K-120, distribuido en México por Marke y Banamex.	
Figura 18. Sistema ByeStandby, distribuido en el Reino Unido.....	52
Figura 19. Esquema explicativo de la aplicación de la sinergia: dos triángulos pueden modificarse para generar un tetraedro, que se compone de cuatro triángulos. De ahí la expresión $1+1=4$ (Fuller Estate, 1997).....	71
Figura 20. Eje de comunicaciones.....	74
Figura 21. Eje informático de esta investigación.....	76
Figura 22. Eje de interacción de esta investigación.....	78
Figura 23. Funciones del objeto diseñado (Aguirre, 2004).....	82
Figura 24. Modelo de Procesador Humano de Cards, Moran y Newell (en BOFF <i>et al.</i> , 1986).....	90
Figura 25. Combinatoria realizada como base creativa. En la imagen se obser- van posibilidades para el control de encendido del sistema (botón) en relación con la superficie de la placa principal.....	124
Figura 26. Segunda parte de la combinatoria mostrando composiciones para un botón de encendido del sistema y 4 botones secundarios.....	124
Figura 27. Tercera parte de la combinatoria mostrando composiciones para un botón de encendido del sistema y 4 botones secundarios.....	125
Figura 28. Arreglos de botón seleccionados a partir de la combinatoria.....	126
Figura 29. Propuesta 1 de placas del sistema.	127
Figura 30. Propuesta 2 de placas del sistema.	127
Figura 31. Propuesta 3 de placas del sistema.	128
Figura 32. Propuesta 4 de placas del sistema.	128
Figura 33. Renderización de modelo tridimensional correspondiente a la pro- puesta 1.	129
Figura 34. Renderización de modelo tridimensional correspondiente a la pro- puesta 4. Se simula una placa decorativa.	129

Figura 35. Renderización de modelo tridimensional correspondiente a la propuesta 2.	130
Figura 36. Renderización de modelo tridimensional correspondiente a la propuesta 3.	130
Figura 37. Despiece de la alternativa seleccionada en la segunda etapa. Se realizó a partir de un modelo tridimensional virtual.	132
Figura 38. Despiece de la alternativa seleccionada en la segunda etapa. Se realizó a partir de un modelo tridimensional virtual.	133
Figura 39. Fotografía de la primera maqueta realizada de la propuesta 1.....	134
Figura 40. Fotografía de la primera maqueta realizada de la propuesta 3.....	135
Figura 41. Diodo LED de luz azul seleccionado para los indicadores visuales.	137
Figura 42. Microcontrolador Arduino Duemilanove.	139
Figura 43. Sensor de toque tipo capacitivo. En la fotografía se observa la superficie de toque, de forma circular.	140
Figura 44. En la fotografía se pueden ver los alambres soldados a la placa del sensor en sustitución del conector original.	140
Figura 45. Seeeduino brick chassis. Bloque modular de interfaz para microcontrolador tipo Arduino.....	141
Figura 46. Hoja de policarbonato seleccionada para las placas de control.	142
Figura 47. Circuito de pruebas que se empleó para verificar la lógica de funcionamiento, la programación y la electrónica para la mesa de simulación.	143
Figura 48. Etapa constructiva de la mesa de simulación.....	144
Figura 49. Una etapa constructiva de la mesa de simulación.	144
Figura 50. Detalle de la mesa de simulación.	145
Figura 51. Detalle de la mesa de simulación.	145
Figura 52. Dispositivo XBee como los que se incorporaron a la tercera serie de maquetas.	146

Figura 53. Microcontrolador Arduino UNO R3.....	147
Figura 54. Placa del Módulo Principal. Tercera maqueta realizada, sensores funcionales.	148
Figura 55. Nivel socioeconómico (NSE) de los cinco sujetos de pruebas	164
Figura 56. Gráfica de la aceptación de factores expresivos estéticos.....	166
Figura 57. Mesa de simulación empleada para probar el sistema y hacer las pruebas con usuarios	168
Figura 58. Resultados de la Prueba 5	169
Figura 59. Resultados acumulados de la Prueba 6	171
Figura 60. Módulo principal y módulo secundario para control de luminarias	174
Figura 61. Módulo secundario para control combinado de luminarias y con- tactos, y módulo secundario para control de contactos.	174
Figura 62. Elementos prácticos y expresivos para la operación del Módulo Principal	175
Figura 63. Elementos prácticos y expresivos para la operación de un Módulo Secundario.....	176
Figura 64. Despiece del módulo principal con la descripción de cada uno de sus componentes.	178

Palabras Clave

Ahorro eléctrico

Ahorro doméstico

Control eléctrico doméstico

Energía en espera

Diseño tecnológico de producto

Interfaz física con usuario

Domótica

Resumen

Esta investigación busca diseñar un sistema de ahorro de energía eléctrica en espera para su uso en viviendas urbanas específicamente de México. Una vez establecido un marco de referencia en temas como la energía y la sustentabilidad, se inicia una búsqueda de principios de operación que hagan viable el ahorro energético y se realiza un análisis de los sistemas existentes a nivel internacional. Posteriormente se valoran los principios encontrados, y se realiza una selección tomando en consideración las características específicas de la población mexicana. Se busca probar que es posible usar tecnologías de reducido costo o libres, para producir un ahorro eléctrico que no implique para los usuarios de clase media un desembolso cuantioso ni requiera de grandes remodelaciones en las viviendas. Se realiza un proceso de diseño de interfaces para el usuario que permita la operación del sistema sin dudas ni ambigüedades y que considere además la componente estética. Se realizan diferentes propuestas que posteriormente se seleccionan a través de un proceso de eliminación y síntesis. Se prueba la tecnología a través de una serie de prototipos electrónicos y se construye un modelo de pruebas para comprobar la facilidad de uso y operación del sistema directamente con usuarios a través de un experimento. Una aportación importante de este trabajo consiste en la demostración de que es posible realizar un trabajo transdisciplinario desde el diseño, que resulte relevante para el mejoramiento de la situación actual de la sociedad.

Keywords

Electric energy consumption

Residential energy consumption

Home electric control

Stand-by energy

Technologic product design

Physical user interface

Domotics

Abstract

This research intends to design a system to generate electric energy savings in urban housing, specifically in cities of Mexico. After establishing a contextual reference about energy consumption and sustainability, this work begins with a search for operational principles that make energy savings viable, and proposes an analysis of the existing systems around the world. The operational principles found are then evaluated and a selection is made taking into consideration the specific characteristics of mexican population. Selected the appropriate operational principles, a process of interface design is conducted in order to obtain adequate user interfaces to allow the operation of the system without any doubt or ambiguity. Aesthetics of the interface are also considered in the process. Different proposals are made and the final design is selected via an elimination and synthesis method. Technological choices are evaluated through a series of electronic prototypes and finally, a testing model is built, to demonstrate the system's usability and simplicity of operation through an experiment applied to the target population. An important achievement of this work relies in the demonstration that it is possible to reach relevant trans-disciplinary goals from a design approach, to improve social wellness.

Introducción

La situación actual del aprovechamiento de recursos energéticos no renovables y su estrecha relación con las emisiones de contaminantes y de gases de efecto invernadero a la atmósfera hacen que resulte de gran importancia emprender iniciativas que aprovechen energéticos renovables no dañinos para el ambiente. En tanto se buscan soluciones que lo hagan posible, es muy importante generar soluciones que permitan un uso más eficiente de la energía, logrando un uso mejor racionalizado de todas las fuentes energéticas.

Los principales actores en esta búsqueda han sido los sectores gubernamentales e industriales, sin embargo, al considerar el número de usuarios finales de energía eléctrica, queda de manifiesto que el porcentaje más grande corresponde al sector de la vivienda, particularmente al correspondiente a los niveles socioeconómicos medios. Por lo tanto, generar sistemas que permitan a ese sector de la población participar en el ahorro de energía sin vulnerar su economía, resulta de gran importancia en estos días. Tal es la problemática que se aborda en este trabajo, cuyo capítulo 1 detalla las características exactas de la población a la que se busca beneficiar, así como las características del sistema que se busca producir y los factores que se tomaron en consideración para su desarrollo. Se establecen además las diferentes disciplinas cuyos campos deberían aportar la base necesaria para generar la solución requerida.

En el capítulo 2, relativo a la Energía, se hace una sucinta relación de los acontecimientos que han llevado a considerar la importancia de la actividad humana como modificador el ambiente y particularmente del clima del planeta. Las iniciativas internacionales emprendidas y particularmente la postura y situación de México ante dicho tema.

Posteriormente en el capítulo 3, Estado del Arte de los Sistemas Domóticos, se realiza una descripción de los sistemas actualmente disponibles tanto en México como en otros países y se realiza un análisis comparativo de los mismos, destacando sus características y su importancia, con la intención de establecer el punto a partir del cual se consideró necesario desarrollar un sistema análogo adecuado a las características de la población y el mercado mexicanos.

A partir de dicho análisis, el capítulo 4 permite considerar las tecnologías que podrían emplearse en el desarrollo del sistema buscado, seleccionándolas a partir de los paradigmas tecnológicos asociados a los ejes de la investigación.

Establecido lo anterior, se procede entonces en el capítulo 5 a realizar una reflexión sobre el diseño y su quehacer, con la finalidad de dejar clara la importancia de considerar al diseño como actividad fundamentalmente relacionada con el acto de pensar, y a partir de ello con las actividades transformadoras del mundo, y no como frecuentemente se considera, con el mero hacer. Entendido lo cual se concretan las funciones y requisitos que han de cumplirse en el sistema que busca obtenerse como resultado del binomio reflexión-acción en los temas dados.

Al concluir la reflexión y la posterior definición de requisitos, se procede entonces, en el capítulo 6, a concretar la propuesta que permita alcanzarlos, y permita así realizar las aportaciones deseadas. Se describe el proceso y se exponen las diferentes propuestas realizadas y que a partir de una fase de síntesis permite seleccionar la más adecuada en función del mejor cumplimiento de los requisitos marcados.

Posteriormente la propuesta generada es puesta a prueba en el capítulo 7, relativo a la experimentación. Se definen las pruebas que permiten verificar la funcionalidad, usabilidad y aceptación del sistema propuesto, mismas que se llevan a efecto y

permiten obtener una serie de resultados que se exponen, tanto a través de su tabulación como de su graficación.

Finalmente, en el capítulo 8 se describe más detalladamente la propuesta final generada, y a partir de la cual debería poder obtenerse posteriormente el prototipo de serie. A partir de los resultados obtenidos en todo el proceso, se proponen entonces las conclusiones, mismas que permiten contestar los supuestos de investigación y los objetivos planteados de manera adecuada, toda vez que los resultados que se obtuvieron en todas las pruebas fueron favorables a los planteados, si bien no perfectos. Dado lo cual se prevén algunas posibilidades para el posterior desarrollo de éste y otros sistemas encaminados al ahorro de energía dirigidos a sectores de población que por el momento permanecen desatendidos

CAPÍTULO 1
PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Problemática del consumo de energía eléctrica

Los efectos del cambio climático en el plano mundial, y el agotamiento de las reservas petrolíferas en el plano nacional, hacen que resulte urgente el desarrollo y uso de sistemas que permitan disminuir el consumo energético, disminuyendo la necesidad de emplear fuentes no renovables de energía.

La falta de desarrollo de sistemas de ahorro energético eléctrico en el mercado que respondan a las necesidades reales del sector de la vivienda media en México, obstaculiza la participación de gran parte de la población en iniciativas que impliquen un ahorro significativo en el consumo de energía.

Por otra parte, las características que los sistemas de ahorro de energía deben tener para alcanzar un funcionamiento eficiente, implican el desarrollo de soluciones en un plano interdisciplinario, donde se consideren aspectos como la facilidad de uso e instalación por los propios usuarios, el funcionamiento eficaz y un costo reducido.

Este último aspecto, el referente al costo del sistema, representa uno de los retos que habrán de afrontarse, pues los sistemas actualmente existentes, casi en su totalidad implican un elevado desembolso por parte del usuario tanto para su adquisición como para su instalación, por lo que quedan fuera del alcance del grupo de población al que se intenta dirigir el resultado de este trabajo.

Considerando los otros aspectos, debe mencionarse que una solución que atienda la necesidad de ahorro energético únicamente desde el punto de vista tecnológico, aún cuando logre la eficiencia técnica buscada, estará seriamente amenazada en su viabilidad debido a que la complejidad de los dispositivos involucrados demandará una instalación costosa o por lo menos compleja, y al no considerar los requerimientos de los usuarios, podría dificultar su operación, además de que

posiblemente sufrirá de un rechazo del mismo al no involucrar la componente estética que permita que el sistema se convierta en un objeto cuya percepción pueda armonizarse adecuadamente en el sector habitacional.

Una solución que privilegie las características estéticas sobre la tecnológicas, posiblemente lograría la aceptación del usuario, pero implicaría el riesgo grave de incumplir la función para la que ha sido creado, la de lograr un ahorro energético significativo, ocasionando la anulación de su causa original.

En el caso de una solución que atienda principalmente al control del dispositivo, sin cuidar de su eficiencia tecnológica y apariencia estética, además del riesgo de disminuir el ahorro buscado, generará problemas de apropiación del objeto por el usuario, obstaculizando su aceptación.

Dadas las circunstancias descritas, se requiere de una solución de índole integral, desarrollada multidisciplinariamente y en la que el enfoque hacia el usuario será de capital importancia. Las posibilidades que el Diseño ofrece para la generación de soluciones funcionales conformadas por componentes tecnológicas, expresivas y económicas, se juzgan más que adecuadas, imprescindibles.

Definido lo anterior se comenzó la búsqueda de posibles principios de operación, con la finalidad de contar con un punto fijo que sirviera de base para el desarrollo de los demás aspectos de la solución a obtener. Dentro de dichos principios de operación se consideraron la automatización, el uso de instalaciones alimentadas parcialmente por la red eléctrica y complementadas por energías renovables, el uso de dispositivos cogeneradores y la reducción del consumo de energía eléctrica en espera.

Éste último se juzgó muy adecuado para el mercado mexicano, pues no implica una erogación cuantiosa en cuanto a adquisición ni instalación de tecnología, lo que sí se requiere para los otros principios considerados. Se trata, en términos llanos, de

reducir el gasto innecesario de energía cuando se conoce de antemano que no se utilizarán ciertos aparatos o zonas de una vivienda en momentos determinados.

Al tratarse más de instalar dispositivos simples que permitan eliminar ese consumo, se logra un ahorro de forma sencilla, por lo cual se seleccionó entonces el ahorro de energía eléctrica en espera como el principio de operación a probar para el desarrollo de esta investigación.

Hecho lo anterior se procedió a buscar en el mercado dispositivos ya existentes que operen bajo ese mismo principio, localizándose algunos que por sus características específicas no han logrado tener gran aceptación ni difusión en general, sobre todo en el mercado mexicano. En el capítulo 5 se describirán detalladamente dichos dispositivos.

1.2. Problema de diseño

En respuesta a la problemática antes expuesta, se propone diseñar un sistema de ahorro de energía eléctrica que, basándose en la disminución del consumo de energía en espera, permita el ahorro de energía eléctrica en el ámbito doméstico y que atendiendo a principios de usabilidad, operabilidad, sintaxis y semántica, permita además del propio ahorro energético, su instalación y uso por usuarios no calificados y posibilite su adecuada adaptación a las condiciones de habitabilidad en cuanto a confort visual y estético en el contexto de la vivienda media en México.

1.3. Problema de investigación

Dar solución al problema de diseño requiere de un estudio y análisis de los diferentes factores que posibiliten realizar una propuesta que responda a las necesidades de la

población urbana nacional. Dichos factores son principalmente el tecnológico, el energético y el de diseño.

En el factor tecnológico deberán ponderarse las tecnologías existentes, que por sus características permitan lograr la selección adecuada en términos de eficiencia y viabilidad financiera.

En el factor energético deberán considerarse las características de la red nacional de energía, así como las predominantes en el sector de la vivienda media, para definir el ahorro deseado.

En el factor de diseño, deberán considerarse las características ergonómicas, semióticas y estéticas, que posibiliten la apropiada operación de un sistema, al tiempo que favorezcan su aceptación por el usuario determinado.

Con base en los análisis enunciados, la aportación al diseño consistirá en determinar las cualidades del nuevo tipo de dispositivo, específicamente desarrollado para el contexto citado.

1.4. Justificación

Frente a las actuales circunstancias económicas y ecológicas, existe el compromiso de México como país, de cumplir las tasas de reducción de emisiones y ahorro energético. Las actuales políticas gubernamentales son todavía muy incipientes, lo que acentúa la necesidad de participación de otros sectores, como el industrial, empresarial, académico, y la población en general.

La población no cuenta con información suficiente de las posibilidades actuales de reducción de la huella de carbono¹ y de eficiencia y ahorro energético. Parte la falta de información se corresponde con la falta de alternativas en el mercado nacional en cuanto a sistemas eficaces y listos para su implementación y uso. Se distribuyen componentes pero los sistemas se diseñan *ex-profeso* para cada caso, haciendo necesaria una inversión importante, al grado de quedar excluida gran parte de la población.

El contar con un sistema que permita la entrada de ese porcentaje de la población a los esquemas de eficiencia energética con un costo accesible y sin la necesidad de requerir conocimientos especializados para su instalación y operación, favorecería tanto la concientización como la participación de la población, con resultados que implicarían una disminución del consumo energético doméstico en centros urbanos.

1.5. Objetivos

Objetivo final

En esta investigación se propone diseñar un sistema de ahorro de energía eléctrica de bajo coste, para uso doméstico, que permita su fácil instalación y operación directa por usuarios que habiten viviendas de nivel medio² en centros urbanos de México.

¹ De acuerdo con la organización gubernamental británica encargada de la reducción de emisiones, United Kingdom Carbon Trust (2009), la huella de carbono es la cantidad total de emisiones de gases de efecto invernadero generadas por una organización, evento o producto determinados.

² Para la clasificación del nivel de vivienda se consultó una amplia serie de fuentes, de entre las cuales se seleccionó el estudio que propone la Asociación Mexicana de Agencias de Investigación de Mercado y Opinión Pública A.C. (AMAI), dado que el interés en la clasificación de la vivienda para esta investigación responde a la definición de las características físicas y los servicios disponibles en la vivienda construida, conjuntamente con la capacidad económica de los habitantes o propietarios, mas que su relación con las características del diseño arquitectónico, que aunque resulta importante responde a criterios más complejos y menos relacionados con el objeto de estudio. La clasificación AMAI propone desde los criterios expuestos una serie de niveles socioeconómicos que van desde el A, que es el de mayores ingresos y va hasta el E, siendo el de menores ingresos (AMAI, IIS, 2009). Este trabajo se dirige a la vivienda construida de los niveles socioeconómicos C+, C , C- y D+ según quedan definidos en la Regla AMAI NSE (8x7) (AMAI, 2011).

Dicho sistema representará una innovación en tanto que propondrá el uso de tecnologías ya existentes, en una síntesis que evite la necesidad del pago de licenciamientos, aplicando preferentemente tecnologías libres para asegurar que el resultado final no quede fuera de la capacidad económica de la población de niveles socioeconómicos C+, C, C- y D+ en México.

Actualmente existen sistemas desarrollados expresamente para las funciones que se buscan, pero en algunos casos tienen elevados costos de producción, y en otros casos requieren el pago de licencias a los desarrolladores originales, lo que encarece los dispositivos y sistemas, alejándose del mercado objetivo. Resulta entonces muy importante, poner énfasis en que se busca favorecer la relación costo-beneficio entre la tecnología que permite el ahorro de energía en espera y la población que mayor ahorro puede generar en ese rubro en el país, dado lo cual se hace necesaria la generación de una nueva especie de dispositivos que empleen tecnología de bajo costo.

Se propone también como objetivo complementario emplear una forma de trabajo transdisciplinaria, que desde el diseño incorpore otros campos disciplinares para la obtención del sistema, mostrando así la factibilidad e importancia de la participación del diseño en otras disciplinas para favorecer la apropiación tecnológica que puede lograrse al intentar solucionar problemas actuales.

Objetivos parciales

- Definir el principio de operación del sistema y de cada uno de los módulos que permitirán obtener de la mejor manera el ahorro de energía eléctrica en espera.
- Probar el principio de operación mediante un modelo de pruebas.
- Diseñar una interfaz de operación para el sistema de ahorro energético, que al considerar al usuario privilegie los parámetros de usabilidad.

- Diseñar las envolventes de los módulos del sistema con características semióticas y estéticas tales que permitan una integración del mismo en el sector de la vivienda media construida en México.

1.6. Supuestos

Al diseñar un sistema para el ahorro de energía eléctrica en espera se busca hacer una aportación desde el diseño a la disminución del consumo energético, pensando en hacer una contribución a la disminución de la dependencia de fuentes de energía no renovables. Explicada la intención, se formulan los supuestos de investigación:

Si el diseño parte de un principio de operación que no requiera el pago de tecnologías costosas, ni de la remodelación forzosa de los espacios donde se instale, ni implique el manejo de conocimientos especializados para su instalación y operación, se logrará un sistema cuyo costo lo pondrá al alcance de la población de nivel medio en México.

Si la interfaz de soporte e instalación logra establecer un proceso de comunicación exitosa con el usuario final, éste podrá instalar y usar el sistema.

Si la interfaz de operación permite de manera intuitiva y clara la identificación de las funciones y la comunicación del estado del sistema, el usuario final mantendrá el *locus* de control interno³ en un nivel elevado.

³ El *locus* de control (LC) es el grado en que una persona percibe que controla o es controlada por otros una situación determinada o su vida misma. La definición parte de la Psicología Social y abarca dos aspectos importantes: el interno, en el que la propia persona se asume como la responsable principal de sus actos o de las situaciones; y el externo, en el que la persona percibe que sus actos y las situaciones que se le presentan son controladas por personas o circunstancias ajenas a sí misma (LEFCOURT, 1982).

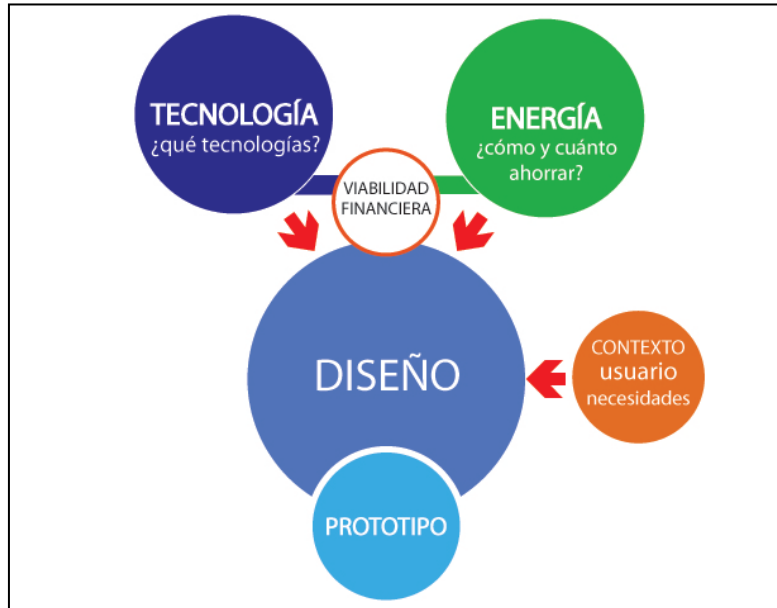


Figura 1. Esquema que ilustra las ramas temáticas que permiten definir el problema de diseño de esta investigación.

1.7. Alcances del proyecto

La presente investigación, dados los términos en que se plantea, requiere de un cierto nivel de concreción y no solamente del trabajo documental y de la reflexión teórica. Es así que se pretende llegar a desarrollar, posterior a la reflexión, un modelo de pruebas que permita probar el principio de operación seleccionado.

La Figura 1 ilustra las ramas temáticas que deberán tenerse en consideración para la solución que se plantee, dado que sin ellas no es posible definir completamente el problema de investigación.

Una vez probado el principio de operación, se pretende diseñar un prototipo para realizar pruebas de interfaz con usuarios tipo y, finalmente, integrar a dicho prototipo los componentes funcionales que permitan demostrar su forma de uso.

No se pretende llegar a desarrollar, sin embargo, un prototipo final listo para producción y certificación, pues implicaría tiempos, costos y procesos que van más allá de los objetivos planteados. No obstante lo cual, el concretar adecuadamente los puntos previstos, debería facilitar más adelante el registro de una patente y su posterior producción y explotación.

Dado que el objetivo general de esta investigación consiste en generar un sistema de ahorro de energía eléctrica en espera, la revisión de la literatura pertinente, las pruebas de convergencia tecnológica y sobre todo la fase de propuesta de diseño deberán permitir construir un modelo de pruebas en el que se puedan comprobar los objetivos específicos.

Siendo éstos la definición y prueba de un principio de operación que permita el ahorro buscado y la generación del diseño de una interfaz clara e intuitiva que incorpore características estéticas aceptables en el mercado mexicano, se pretende que los resultados que arroje el experimento a realizar a partir del modelo de pruebas permitan afinar la propuesta al grado de obtener un prototipo que incorpore las mejoras sugeridas. Ése es el alcance que se señala para esta investigación.

MARCO TEÓRICO - CONTEXTUAL

CAPÍTULO 2 ENERGÍA Y SUSTENTABILIDAD

2.1 Contexto global

Durante los últimos años ha crecido el interés a nivel mundial por controlar el consumo de energéticos, debido a varios factores. En primer lugar, las diferentes reservas petrolíferas parecen comenzar a agotarse o estar, por lo menos, cerca de la última etapa de explotación, contexto en el que la situación de México resulta preocupante, pues según cifras oficiales la producción de hidrocarburos se ha reducido en un 24% durante los últimos diez años por el decrecimiento de las reservas, a pesar de que se ha incrementado el número de campos y pozos activos (PEMEX, 2009); por otra parte, los niveles de emisiones de partículas contaminantes a la atmósfera están favoreciendo las condiciones de cambio climático que cada vez trastornan más la vida de las diferentes especies del planeta, así como las actividades humanas.

Esta situación ha llevado al emprendimiento de diferentes iniciativas, ya desde la década de los años setenta del siglo pasado, y que se han vuelto más numerosas y profundas, tanto en sus objetivos como en sus alcances. Dichas iniciativas implican acciones encaminadas a la eliminación o sustitución de actividades que producen emisiones contaminantes, y al favorecimiento de tecnologías y procesos que permiten obtener los satisfactores requeridos con un menor consumo energético.

Así pues, se han multiplicado las acciones encaminadas al ahorro de energéticos en general, y no solamente de los hidrocarburos, sino de todo tipo, puesto que al disminuir el uso de hidrocarburos debe recurrirse a otras fuentes de energía para sustituir al petróleo y sus derivados, con las limitantes que impone la capacidad instalada para la producción de otros tipos de energía.

Dado que la problemática, tanto de agotamiento de los hidrocarburos como de cambio climático tienen repercusiones a nivel mundial, resulta muy importante el diseño e implementación de sistemas que permitan reducir el consumo energético en todo el mundo, sin importar qué tipo de energía se ahorre o en qué país se logre.

Por supuesto que las condiciones específicas de cada país, agregan variables que deben considerarse al hacerlo, las económicas incluidas, resultando de mayor urgencia en aquellos países que actualmente realizan actividades productivas poco eficientes en cuanto a consumo y emisiones, así como en los países en los que no se cuenta con grandes cantidades de recursos energéticos, pues la crisis producida por su ausencia sobrevendrá pronto.

Ante este panorama, podría parecer que la solución radicaría en la sustitución de hidrocarburos por energía eléctrica, por ejemplo, pero debe hacerse notar que gran parte de la energía eléctrica que se produce actualmente, se obtiene gracias a la combustión, tanto de hidrocarburos (todos los combustibles fósiles, principalmente petróleo y gas natural), como de biomasa (como carbón vegetal, leña y bagazo de caña en el caso de México) y de otras sustancias, lo que además produce grandes emisiones de contaminantes a la atmósfera.

La energía solar y otras energías renovables, por otra parte, parecen ser fuentes mucho más benignas para la atmósfera y en general para el medio ambiente, radicando las dificultades a resolver en el mejoramiento de la eficiencia de su aprovechamiento y en la reducción de costos de producción e instalación que permita su uso a gran escala.

En el apartado 2.2 se describirá detalladamente cómo los temas de cambio climático y control energético fueron cobrando importancia durante el siglo veinte, a partir del concepto de impacto ambiental, y se fueron integrando como conceptos poco a poco, derivando en términos que son de uso corriente hoy en día, tales como *sustentabilidad* o *Desarrollo Sustentable*.⁴

⁴ Se entiende como Desarrollo Sustentable a aquel desarrollo que permite satisfacer las necesidades presentes sin comprometer la capacidad de satisfacción de necesidades de las generaciones futuras, de acuerdo con lo que afirma el documento *Nuestro Futuro Común*, generado por las Naciones Unidas (UN-D, 1987).

2.2 Impacto ambiental y sustentabilidad

Se denomina impacto ambiental al conjunto de las alteraciones sufridas por el medio geográfico, físico, climático, y viviente, como resultado de las acciones realizadas por los humanos (Conesa, 1997). Dichas alteraciones pueden ser positivas o negativas, simplemente se hace referencia a una modificación originada por actos del hombre.

Definido así el impacto ambiental, puede considerarse que toda acción humana tiene un impacto ambiental. Cuando se habla de control del impacto ambiental, se quiere entonces designar así a la serie de decisiones encaminadas a que el resultado final de las acciones humanas que se planifican, tenga un impacto ambiental positivo o negativo mínimo, o que por lo menos no implique un daño irreversible en el medio ambiente.

Los efectos y consecuencias a que hace referencia el término impacto ambiental son de lo más diversas, comprendiendo cosas que van desde la simple emisión de sustancias gaseosas, líquidas o sólidas; la modificación o alteración de los equilibrios hidrológico, climático, geológico o biológico; las modificaciones del paisaje en sus componentes tanto física como estética; y abarcando hasta consecuencias tan complejas como la extinción de especies, la generación de residuos radiactivos, la alteración permanente del paisaje e incluso la migración humana con fines de supervivencia.

Todo esto no es nuevo, se habla de ello desde la década de los años sesentas del siglo pasado. ¿Cuál es, entonces, la importancia de este tema cuando está por concluir la primera década del siglo XXI? Fácilmente puede anticiparse la respuesta, si se consideran, por ejemplo, los cambios que hemos observado en los años recientes en torno al clima.

Aún cuando sea un tema polémico, lo que no puede negarse es que se han observado variaciones en el clima a nivel mundial de una magnitud como no tenemos registro a lo largo de la historia, aunque sí hay cambios documentados de una intensidad menor.

Puede aceptarse o rechazarse la importancia de la contribución humana a tales fenómenos, pero es indudable que cada vez es menos viable tanto económica como ambientalmente hablando, mantener los hábitos de vida y las actividades productivas tal y como se han venido desarrollando hasta ahora, más aún, si se consideran las predicciones que señalan que la tendencia prevalente es la de una acentuación del cambio climático.

Existen documentos que respaldan lo anterior, documentos que tienen los más diversos orígenes. Ya desde la década de los setentas del siglo pasado, se conocieron las primeras señales contundentes de que nos encontrábamos ante una situación mundial que impelía a replantear el ritmo de crecimiento, al considerar la existencia de una falta de balance entre los recursos disponibles y las cifras de población. Tales son los temas centrales del documento *Los límites del crecimiento* (Meadows, 1972), también conocido como *Reporte Meadows*, un documento cuyo interés era generar un marco analítico fundado en cifras, más que el desarrollo de un esquema predictivo.

2.2.1 Reacción mundial

Dichas reflexiones y documentos dieron lugar ya en ese año de 1972 a la generación del primer organismo internacional dedicado al diagnóstico, alerta y prevención relacionados con el impacto ambiental, el Programa de las Naciones Unidas para el

Medio Ambiente (UNEP),⁵ y que actualmente ha cobrado gran relevancia debido a las convocatorias que ha generado para buscar acuerdos vinculantes a nivel mundial. Posteriormente, en 1983, se creó la Comisión Mundial de Medio Ambiente y Desarrollo⁶ por encargo de las Naciones Unidas, al reconocer ese organismo que los cambios en el medio ambiente estaban generando importante deterioro para el entorno humano y los recursos naturales, y que podían tener además graves repercusiones en el plano del desarrollo económico y social mundiales. La WCED generó un documento conteniendo los resultados de su trabajo en el año de 1987, con el título de *Our Common Future* (Nuestro Futuro Común) donde se definían los principales campos de acción para la mitigación del impacto ambiental negativo, instándose a los países miembros de las Naciones Unidas a adherirse a las iniciativas de desarrollo de políticas de “desarrollo sustentable”.⁷ Dicho documento es también conocido como Reporte Brundtland, en reconocimiento a la labor que para su generación realizó la ex-primera ministra de Noruega, Dra. Gro Harlem Brundtland, como fundadora y primera secretaria de la WCED.⁸

Otro documento, bastante reciente y tal vez uno de los más conocidos, es el llamado *Reporte Stern* (Stern, 2006), un documento elaborado por el Ministerio del Tesoro de Su Majestad británica, que tuvo por objetivo conocer la dimensión de las repercusiones que el fenómeno del cambio climático tendrá a futuro en las actividades económicas.⁹

⁵ Conocido como UNEP, por sus siglas en inglés: *United Nations Environment Programme*, cuya fundación se acordó por la Asamblea General en 1972, veinte años antes de la así llamada Cumbre de la Tierra, uno de los eventos promovidos por el propio programa.

⁶ Conocida como WCED por sus siglas en inglés: *World Commission on Environment and Development*, fue una comisión creada por el Secretariado General de las Naciones Unidas para investigar los temas del Medio Ambiente y el Desarrollo y presentar informes a la Asamblea General.

⁷ Se utilizó la expresión *sustainable development* en el documento original.

⁸ Actualmente Brundtland participa a petición del secretario general de las Naciones Unidas, Ban Ki-Moon, como enviada especial sobre el cambio climático en misiones específicas asignadas por la organización, junto con Ricardo Lagos y Han Seung-Soo (UN, 2010).

⁹ El *Reporte Stern* es un documento que se generó durante los años 2005 y 2006, a petición del gobierno británico, y su estructura se conformó gracias a las colaboraciones de diferentes instituciones y gobiernos, que fueron remitidas a petición de Sir Nicholas Stern, líder del proyecto. Los resultados fueron publicados a finales de 2006 después de exhaustivas revisiones realizadas por el equipo de trabajo, aunque la versión impresa se distribuyó desde el año 2007.

Dicho documento habla de la gravedad de la responsabilidad humana en el conjunto de fenómenos que se han denominado cambio climático, y de la inviabilidad definitiva de la continuación de los sistemas económicos y productivos como son actualmente. También hace mención de la necesidad apremiante de adaptar los sistemas industriales en los países desarrollados, para mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero y reducir el consumo energético, sobre todo aquél que se base en el uso de combustibles fósiles. Parte de la importancia de este documento radica en el hecho de que fue encargado con el fin específico de conocer las acciones que el gobierno británico debería adoptar para garantizar a futuro los procesos económicos y productivos que le permitieran conservar su papel protagónico en el escenario mundial.

Ese mismo documento habla también de la posibilidad de evitar que la difícil situación económica de un buen porcentaje de individuos de la población de países del –así llamado– tercer mundo, se agrave aún más como consecuencia de la falta de soluciones diferentes a las explotadas en países desarrollados, no siempre adaptadas de la mejor manera a las condiciones de sus propias condiciones y geografías.

Ahora bien, ¿qué actividades humanas son responsables de toda esa serie de efectos? Existen diferentes posturas al respecto. Una de ellas, y quizás la más radical, considera imposible la existencia de la especie humana sin la generación de alteraciones en su entorno, dado lo cual, la única alternativa consistiría en reducir o minimizar los efectos negativos.

Otra postura es la que considera que la especie humana, como integrante activa del propio medio natural, implica alteraciones que son también naturales al medio.

Coincidiendo con ello pero discrepando en los efectos que la tecnificación de los procesos ha tenido, otras personas postulan que la escala industrial de producción ha

sido precisamente responsable de elevar los efectos que la especie podría generar naturalmente, al grado de poner en peligro no solo el equilibrio de los procesos naturales sino la existencia de los propios humanos, y que es en consecuencia en las actividades propiamente industriales donde se debería ejercer un control más estricto, que permita que las alteraciones al ambiente se puedan mantener dentro de rangos que no pongan en peligro los ciclos y procesos naturales.

Cualquiera de las posturas mencionadas implica que, si se quiere reducir el riesgo de inviabilidad de procesos, que ponga en peligro el equilibrio natural, es necesaria la modificación de las actividades del hombre. En otros términos, si no se modifican en el plano inmediato, cada vez será mayor el riesgo de que las acciones humanas hagan irreversibles los daños que tarde o temprano acabarán por afectar a la propia especie.

En el año 2002 se publicó un libro cuyo título es *Cradle to cradle: Remaking the way we make things*¹⁰. Fue publicado por William McDonough y Michael Braungart, arquitecto y químico respectivamente. En dicho trabajo se recopila una serie de reflexiones y planteamientos que ya desde los años setentas se habían comenzado a generar y plantear en diversos foros internacionales. El texto plantea la necesidad de rediseñar los sistemas productivos, dando por sentado que no deben producirse desechos, sino que los procesos de fabricación deben generar sustancias que puedan alimentarse a nuevos procesos, sean materiales o artificiales, bajo la premisa de la no-generación de desechos. Básicamente se trata de imitar el funcionamiento de los organismos en la naturaleza, donde los desechos de unos se convierten en los nutrientes principales de otros, en una cadena que recircula efectivamente la materia de tal manera que nunca hay un desperdicio que no pueda ser aprovechado (McDonough Y Braungart, 2002).

¹⁰ Traducido como De la cuna a la cuna: rehaciendo la forma en que hacemos las cosas.

2.2.2 Sustentabilidad

El panorama actual implica, dadas las situaciones mencionadas, esencialmente un replanteamiento de la escala de valores aceptada por las sociedades contemporáneas. Durante los años posteriores a la segunda guerra mundial, se privilegiaron desde las esferas de gobierno actividades como la producción y el consumo frente a otras prácticas que representaban anteriormente valores más elevados, con la intención de producir una rápida recuperación de las economías nacionales, incrementando además las transacciones internacionales. Dicho ajuste de valores se ha mantenido vigente, con pocas alteraciones hasta el momento.

Sin embargo, las cada vez mas recientes crisis energéticas y factores como el cambio climático no hacen sino indicarnos que es tiempo de replantear nuevamente esa escala de valores, quizás no desde los gobiernos, que parecen más interesados en realizar solamente los cambios más apremiantes, con tal de favorecer el mantenimiento del *statu quo* el mayor tiempo posible. En realidad, considerando documentos como los que se han mencionado, el *Reporte Meadows* y el *Reporte Stern* entre ellos, se cobra conciencia de que hace tiempo que deberían haberse tenido estas reflexiones, parecería inclusive que actuar hoy es ya actuar tarde.

Frente a las diferentes crisis que se han afrontado, han surgido a lo largo de las últimas décadas diferentes iniciativas encaminadas a paliar los efectos nocivos más visibles de la actividad humana. Se ha venido hablando entonces, de términos como sostenibilidad y sustentabilidad. La necesidad de tomar conciencia sobre el tema del impacto ambiental ha hecho que se utilicen tan frecuentemente que hoy día podría tenerse la impresión de que hablar en esos términos es parte ya de la solución.

Sin embargo, no existe una definición universalmente aceptada de los significados e implicaciones de estos términos. Frecuentemente se toman como sinónimos sostenibilidad y sustentabilidad, aunque diversos autores establecen diferencias entre

ellos que hacen que se piense que en realidad son dos términos muy diferentes. Incluso el idioma en el que se manejan tiene implicaciones para su significado, pues mientras en inglés ambos términos son abarcados por el vocablo *sustainability*, en idiomas como el francés y el español se mantiene una diferenciación de términos y frecuente, aunque no absolutamente, de significados.

Ambos términos tuvieron su origen en el ya referido documento de la WCED, *Our Common Future*, donde se logra la primera definición de desarrollo sustentable: “un proceso de cambio en el que la explotación de recursos, la orientación de las inversiones, la orientación del desarrollo tecnológico y los cambios institucionales se encuentran todos en armonía e incrementan el potencial actual y futuro de satisfacer las necesidades y aspiraciones humanas” (UN-D, 2009).

Aunque representó un verdadero logro en materia de acuerdos internacionales, como puede observarse en la definición acordada, básicamente se hace referencia a un equilibrio entre los procesos humanos con fines de bienestar humano. Quizás no es la idea que actualmente tenemos de desarrollo sustentable, dado que más de diez años después de firmado el documento, existe gente muy interesada en que la armonía propuesta no quede solamente a nivel humano, sino más bien entre todas las especies, otros inclusive proponen que debe alcanzarse a nivel planetario.

Después de la iniciativa de la WCED, se han sucedido diversas reuniones, cada vez mas frecuentes, que tratan a nivel internacional los temas más urgentes relacionados con el desarrollo sustentable. Una de esas reuniones y tal vez la más importante de los últimos años, fue la denominada Cumbre de la Tierra, que se celebró en 1992 en Río de Janeiro.

En dicha reunión, a la que asistieron muchos estados miembros de las Naciones Unidas, representantes de varios cientos de organizaciones no gubernamentales, y representantes de muchas empresas, se llegó a un acuerdo internacional conocido en

español como el Convenio Marco de la Convención de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (UNFCCC)¹¹.

Sobre los acuerdos incluidos en ese convenio se han establecido los siguientes compromisos internacionales, como el Protocolo de Kyoto, donde se establecieron tasas específicas de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, y que ha servido durante los últimos años para medir el grado de compromiso de las naciones participantes, y para incorporar a más países y organizaciones en las acciones relacionadas con el mejoramiento del impacto ambiental ocasionado por la actividad humana.

Destaca también la labor del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC)¹², un organismo formado a iniciativa de las Naciones Unidas dedicado a la realización de estudios científicos y a su publicación en reportes, sobre temas considerados fundamentales para el cumplimiento del UNFCCC. El más reciente de los reportes, publicado en 2008 y conocido como AR5,¹³ trata del fenómeno del cambio climático a partir de la observación del sistema climático mundial; de los factores que permiten el calentamiento y el enfriamiento de la atmósfera del planeta; de las acciones que permitirán la mitigación y adaptación en torno al cambio de temperatura; de las situaciones que a futuro afectarán al planeta como consecuencia del incremento de la temperatura; y de los puntos clave que se desconocen todavía en relación con este fenómeno climático (IPCC, 2012). La importancia del contenido del AR5 ha sido tan grande, que en el año 2008 se otorgó el Premio Nobel de la Paz al IPCC por su labor en favor de la humanidad.¹⁴

¹¹ El nombre en inglés es *United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC)*. Es el más importante acuerdo internacional sobre el control de emisiones de gases de efecto invernadero, donde además queda establecida la relación entre el cambio climático observado en los últimos años, con las actividades industriales y productivas, aunque no su proporción.

¹² *Intergovernmental Panel on Climate Change*, es el organismo principal de asesoría sobre el cambio climático para el UNEP.

¹³ AR5 es la síntesis de su nombre en inglés: *Fifth Assessment Report*.

¹⁴ Conjuntamente con el ex-presidente estadounidense Al Gore por su trabajo en los mismos temas.

No solamente desde las organizaciones políticas internacionales ha habido reacciones, también los organismos más vinculados a la economía y al sector empresarial han emitido respuesta en diversos sentidos. Una de esas ha tenido especial importancia para las empresas a nivel mundial, se trata de la emisión de las normas ISO-14000 por parte de la Organización Internacional para la Estandarización (ISO). Dichas normas tienen el objetivo de hacer explícitos los instrumentos de registro, medición y control del impacto ambiental al interior de las empresas u organismos, llegando a minimizar todo lo posible sus efectos negativos. Esta gestión ambiental, junto con la normativa dedicada a la gestión de la calidad, son actualmente las normas estandarizadas de mayor uso a nivel mundial (ISO, 2009).

Sin embargo, normativas como las ISO-14000 no representan una solución adecuada para la efectiva reducción de los aspectos negativos del impacto ambiental, pues se limitan a la reducción de emisiones y a la disminución de los desechos derivados de los procesos habituales de las empresas, cuando en realidad lo que se necesita es un cambio en los procesos, pues, como se verá más adelante, la problemática actual deriva del hecho de que ya no es posible seguir haciendo las mismas cosas, mucho menos del mismo modo.

El siguiente compromiso internacional, que debería haber asegurado la continuidad en las acciones negociadas en el Protocolo de Kyoto¹⁵, ya con la participación de la gente y no solamente de los gobiernos, organizaciones y empresas, fue la reunión que se celebró del 7 al 18 de diciembre de 2009 en la ciudad de Copenhague.

La reunión de Copenhague, en esta ocasión, incluyó la posibilidad de que la gente interesada firmara la petición de aprobar en la reunión el fortalecimiento de las

¹⁵ El Protocolo de Kyoto es un tratado internacional promovido por el UNFCCC (1997), donde se establecieron las cuotas máximas de emisiones de gases de invernadero, principalmente de Dióxido de Carbono. Las tasas propuestas son diferenciadas, pues para algunos países desarrollados implica una reducción en las emisiones, para otros países implica evitar el crecimiento y para otros disminuirlo.

políticas internacionales encaminadas al compromiso en términos reales en materias como reducción de emisiones contaminantes, reducción de emisiones de gases de invernadero, apoyo a los países en desarrollo para la implementación de controles en la reducción de emisiones, y políticas de apoyo para la población en zonas de riesgo acentuado por el cambio climático (COP15, 2009). Aunque los temas de petición están ya establecidos, es la primera vez que en una reunión de este tipo se puede emitir de manera oficial una petición y una opinión de respaldo por parte de la gente (Seal The Deal, 2009).

De esta manera es que paulatinamente, y obligados por los propios efectos de cambio climático y aparición de efectos nocivos para la especie humana, se han ido negociando acuerdos que han llevado a considerar la importancia de una serie de cambios que permitan una mejor relación entre la especie humana y las otras especies, en el contexto activo del medio ambiente natural.

Desafortunadamente, la reunión de Copenhague no produjo ningún documento concluyente, ni el compromiso de todos los asistentes por mejorar su postura frente al tema del cambio climático. Se firmaron acuerdos parciales entre grupos de países, pero no hubo consenso en la mayor parte de los temas.

Posteriormente, en la reunión de Cancún (COP16), se sentaron las bases para crear el llamado “fondo verde” para apoyar a los gobiernos e instituciones interesados en la reducción de emisiones contaminantes y de gases de efecto invernadero. Sin embargo, la oposición de los Estados Unidos evitó que se lograra un acuerdo respecto al nuevo tratado que debería sustituir al Protocolo de Kyoto, aunque se acordó que sería tema principal en la posterior reunión de Durban.

En diciembre de 2011 dicha conferencia de Durban (COP17) no logró acuerdos concluyentes dado que los diferentes grupos de países mantuvieron inalteradas sus posturas, impidiendo un acuerdo general sobre emisiones.

2.3 Situación en México

El caso particular de México en cuanto a energía se refiere, manifiesta una particular urgencia en cuanto a la implementación de medidas que permitan el ahorro energético. Habiendo sido durante muchos años uno de los principales productores de petróleo, se encuentra actualmente explotando la última etapa de varios de sus más importantes yacimientos de hidrocarburos. A pesar de haberse localizado algunos yacimientos más, de dimensión presumiblemente de importancia, las diferentes administraciones de gobierno no han empleado las utilidades de la comercialización de combustibles ni los excedentes petroleros para explorar y explotar dichos yacimientos. Debido a esa serie de decisiones equivocadas, y sumado el estado general de crisis de las economías, resulta imposible para el estado y sus paraestatales emprender autónomamente la perforación y extracción de los nuevos recursos localizados, haciendo todavía más crítica la situación energética nacional.

Además de lo anterior, se ha mencionado ya el daño a la atmósfera que significa la combustión de combustibles fósiles, y las instalaciones geotérmicas, hidroeléctricas y nucleoelectricas con que cuenta el país, no serían por sí solas capaces de producir actualmente la energía que se requiere para satisfacer la demanda eléctrica nacional.

Debido a los puntos expuestos, resulta de gran importancia fomentar a gran escala el ahorro energético en el país. Hace algunos años que se comenzó con la generación de diversas iniciativas que buscan a diferentes niveles el uso racional y controlado de los energéticos.

Diversos organismos gubernamentales como las Secretarías de Energía (SENER) y de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), el Instituto Nacional de Ecología (INE), y la Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía

(CONUEE)¹⁶ comenzaron a generar planes y programas para difundir la conveniencia de las acciones que permiten un mejor control del impacto ambiental, y una reducción en el consumo de energía. Al mismo tiempo han surgido instancias como el Fideicomiso para el Ahorro de la Energía Eléctrica (FIDE)¹⁷ y el Sistema de Información Energética (SIE) dependiente de la Secretaría de Energía (SENER), encargados de obtener y publicar información, para su uso en el desarrollo de iniciativas que conduzcan a un mejor aprovechamiento de la energía.

A pesar de la existencia de los mencionados organismos, los programas iniciados hace ya varios años han tenido un alcance y participación limitados y por lo general no implican un gran nivel de involucramiento ni concientización de la población. La participación de la sociedad es apenas incipiente.

Analizando los diferentes tipos de energía que se producen en México (Figura 2), se tiene como primer lugar, con diferencia, a los petrolíferos, que representan la mayor parte de la energía total producida; en segundo lugar se ubica la energía eléctrica; en tercer lugar la energía obtenida a través de gas seco; en cuarto lugar la leña y el bagazo de caña; siendo esos generadores los más importantes por la cantidad de energía producida (SIE-SENER, 2010). Se aprecia en la información anterior la fuerte desproporción existente entre los tipos de energía producida. A la leña y el bagazo de caña se les denomina oficialmente biomasa.

El tipo de generador denominado biomasa, según lo expuesto por el SIE, se usa desde la definición que aporta la Ecología,¹⁸ y está conformado en México básicamente por dos rubros, el que se refiere a la obtención de energía mediante la combustión de leña, y el que se refiere a la combustión de bagazo de caña. De esta

¹⁶ Hasta el año 2008 Comisión Nacional para el Ahorro de Energía (CONAE).

¹⁷ El FIDE se creó como una organización privada mixta, sin fines de lucro, con la finalidad de promover en los sectores privado, social

¹⁸ Definición en la que la biomasa es toda sustancia orgánica, sin requerir alguna característica específica.

manera, en México la energía obtenida por biomasa representa una fuente altamente contaminante, pues es generadora de grandes niveles de emisiones de partículas a la atmósfera. Por contraste, en la Unión Europea, cuando se habla de biomasa, se utiliza una definición posterior, que hace referencia desde la perspectiva bioenergética al uso y proceso de recursos naturales renovables, por aprovechamiento controlado o cultivo especial, para generar energía cuidando los subproductos y emisiones producidos. Hay que considerar también que el uso de leña contribuye al incremento de la deforestación, grave problema en el país según la propia SEMARNAT (2012).

2.4 Energía eléctrica

De acuerdo con los datos que aporta la Secretaría de Energía, la energía eléctrica es el más importante tipo de energía por cantidad producida después de los petrolíferos (figura 2), por lo que conviene analizar de qué manera se produce, y cómo se utiliza, para poder posteriormente determinar el ahorro real que puede darse, y particularmente la proporción que mediante la aportación de esta investigación podrá ahorrarse.

La figura 3 muestra los porcentajes de generación eléctrica por generador, según datos de la Comisión Federal de Electricidad (CFE). Es necesario hacer notar en este punto, que existen discrepancias en cuanto a valores y datos entre la información que en el mismo rubro ofrecen la CFE y el SIE, lo que representa en ocasiones un obstáculo para el conocimiento real de la situación energética en el país.

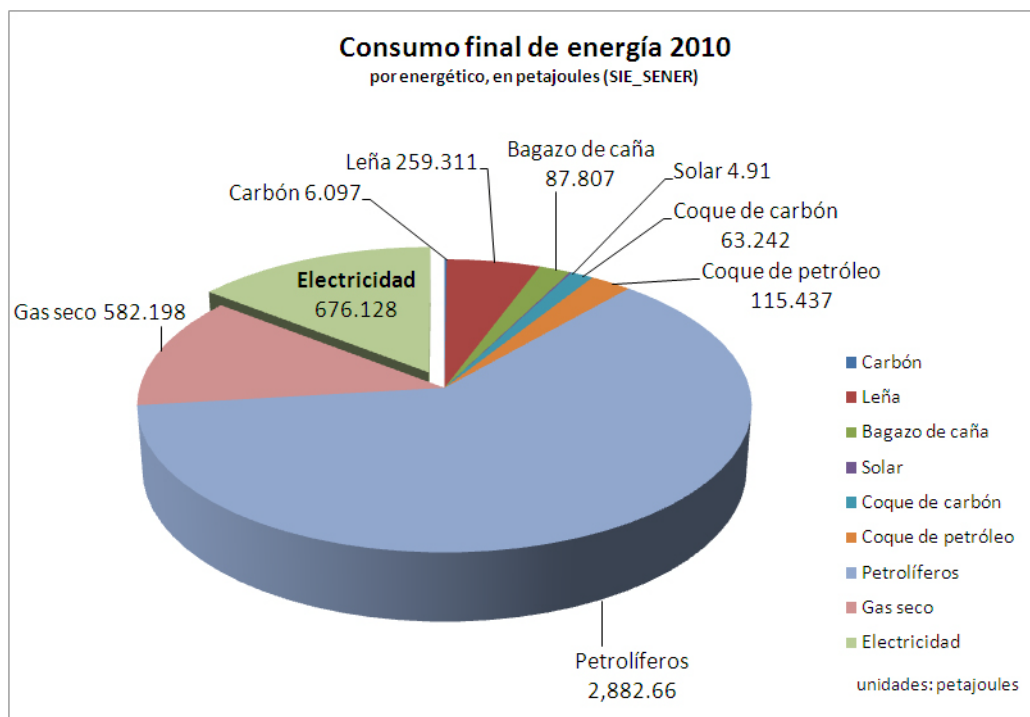


Figura 2. Consumo final de energía 2010 por energético (Elaboración propia basada en SIE-SENER, 2010).

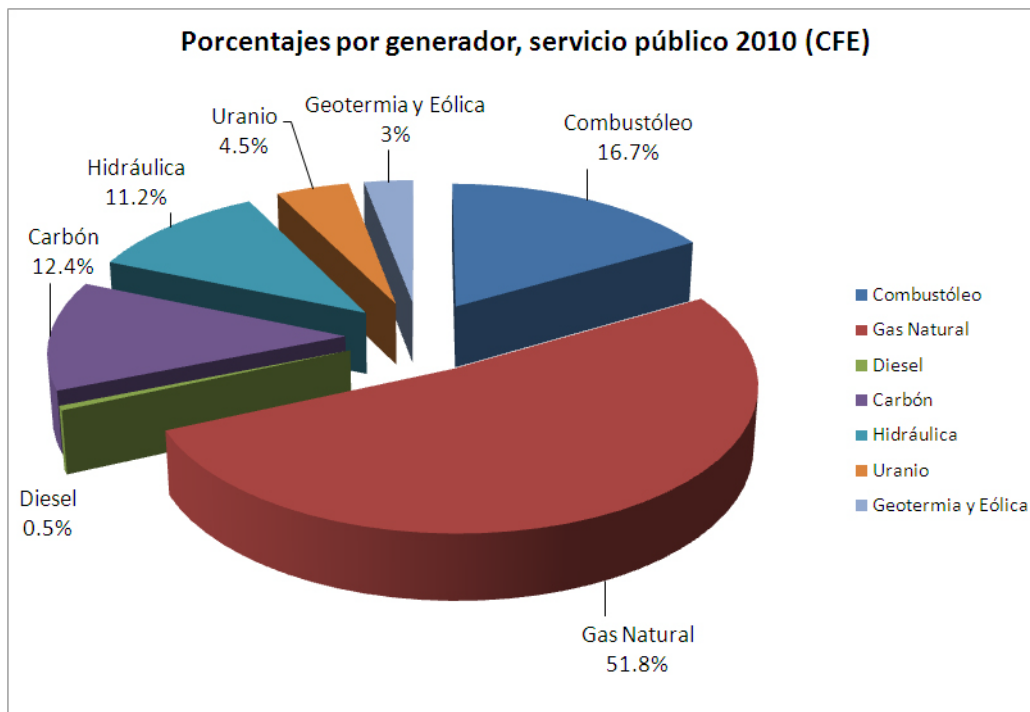


Figura 3. Porcentajes de energía eléctrica producida, servicio público solamente, por tipo de generador (Elaboración propia basada en CFE, 2010).

Para la presente investigación se ha decidido tomar los datos que aporta la SIE, cuando se trate de reflejar la estadística de consumo detallado, pues abarcan los datos de CFE, sumados de los entregados por la Compañía de Luz y Fuerza del Centro (LFC), la compañía que hasta el 2009 se encargó de la distribución y comercialización de la energía eléctrica en el centro del país. Para otros efectos se tomarán ambas fuentes, aclarando la procedencia de los datos para evitar confusiones.

Otro punto importante, una vez se ha establecido la procedencia de la energía en cuanto a su generación, es el consumo por sector a nivel nacional (figuras 4, 5 y 6). Dicho consumo pone de manifiesto que los sectores cuya demanda es mayor, son el industrial y el de transporte, abarcando entre ambos más del 77% de la demanda nacional, pero el sector que le sigue es precisamente el residencial, con 16.31%, hecho que por sí solo justifica la propuesta de programas encaminados al ahorro energético en dicho sector.

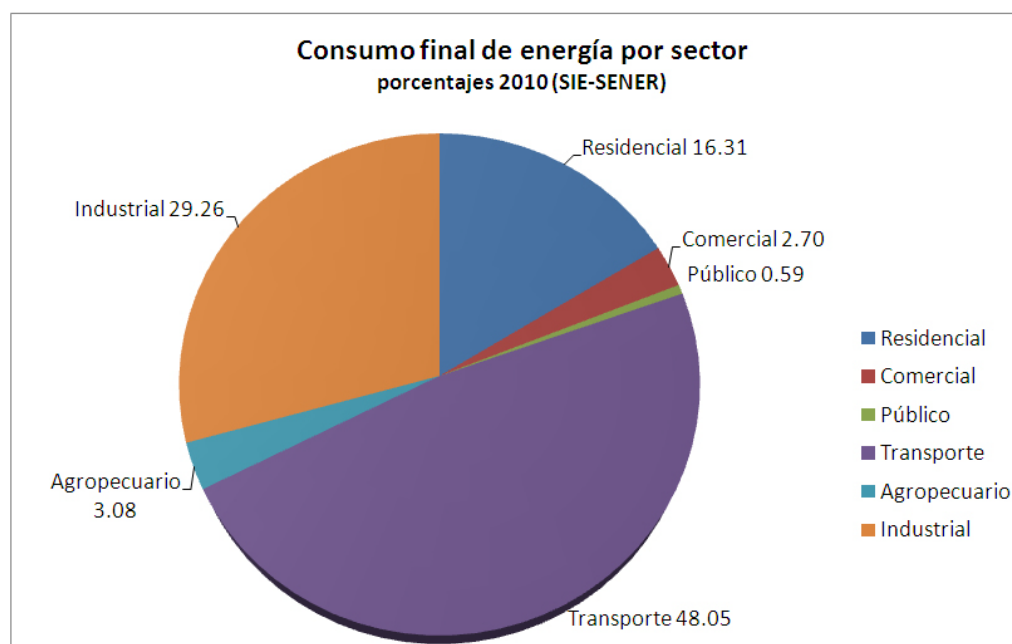


Figura 4. Consumo final de energía 2010, porcentajes por sector (Elaboración propia basada en SIE-SENER, 2010).

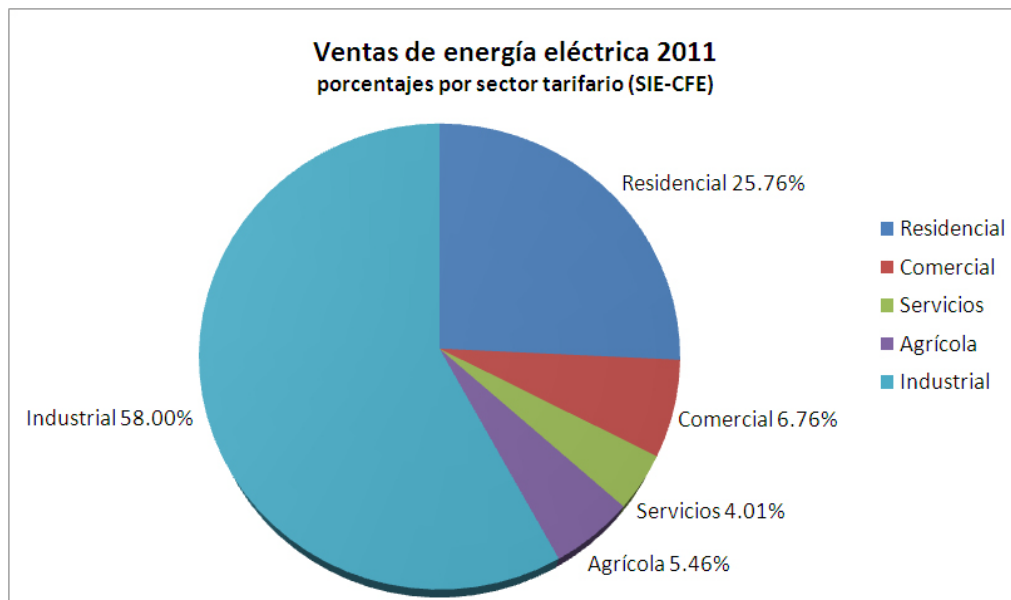


Figura 5. Ventas finales de energía eléctrica 2011, porcentajes por sector tarifario (Elaboración propia basada en SENER, 2011).

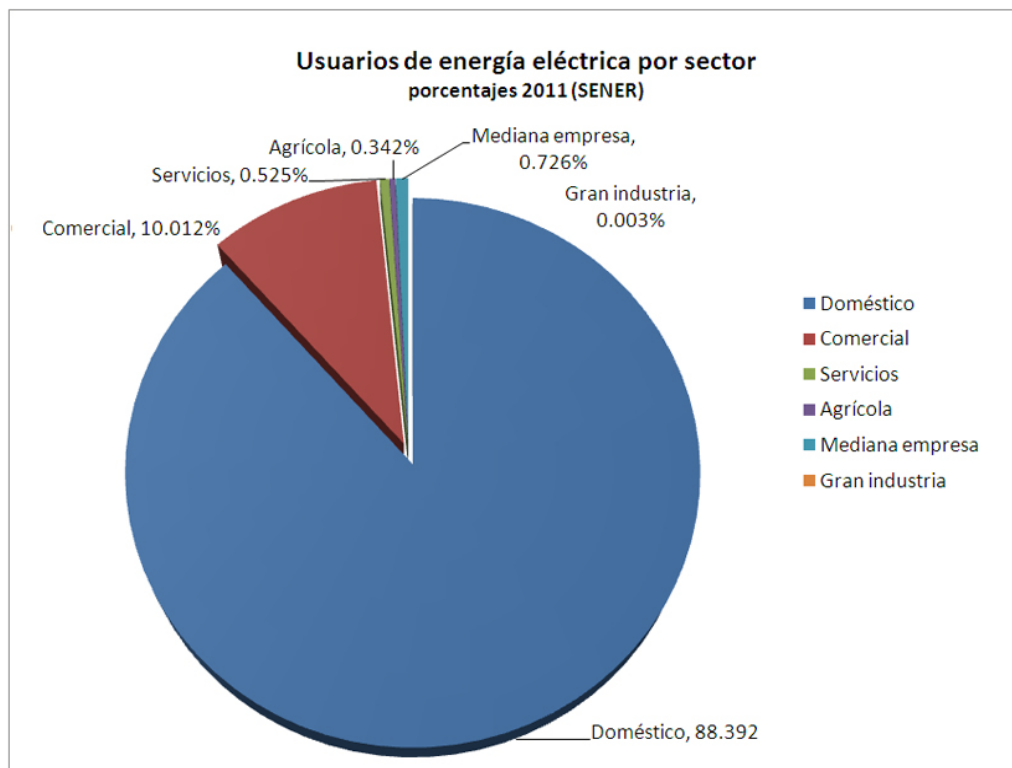


Figura 6. Usuarios de energía eléctrica por sector, porcentajes 2011 (Elaboración propia basada en SENER, 2011).

2.5 Sector habitacional

Se ha mencionado anteriormente que existen diferentes programas gubernamentales encaminados a la reducción del consumo energético, aún con alcances limitados. En cuanto se refiere al sector doméstico, principalmente se han realizado campañas para sustituir las bombillas incandescentes por lámparas fluorescentes de bajo consumo, además de impulsarse la sustitución de electrodomésticos, principalmente refrigeradores y dispositivos de aire acondicionado de modelos atrasados, que por la tecnología que utilizan requieren el consumo de mayores cantidades de energía comparados con los que implican los modelos más recientes.

Además de lo anterior, esporádicamente se ha impulsado mediante campañas, el uso racional de la electricidad, sugiriéndose apagar las luces innecesarias, apagar los aparatos que no estén usándose y disminuir la cantidad de aparatos conectados simultáneamente.

A pesar de lo que se menciona, el consumo doméstico sigue siendo elevado, por lo que desarrollar diferentes estrategias y sistemas que permitan hacer más efectivas las acciones emprendidas, o mejor aún, que permitan nuevas y más efectivas formas de conseguir ahorro energético en dicho sector, será de gran importancia, dado el carácter urgente que tiene el involucramiento de la población en el ahorro energético.

2.6 Ahorro energético doméstico

Las características geográficas y climatológicas de México determinan en gran parte el uso de la energía que hace la población. Existen diferencias importantes en los climas que se encuentran presentes en territorio nacional, siendo la más notable la que se da entre los climas templado y cálido. Las figuras 7 y 8 presentan gráficamente la consecuencia en el caso del sector eléctrico. Como podrá observarse, en el caso de los hogares con climatización el principal uso de la energía eléctrica es el acondicionamiento de aire, en tanto que en los no climatizados es la iluminación.

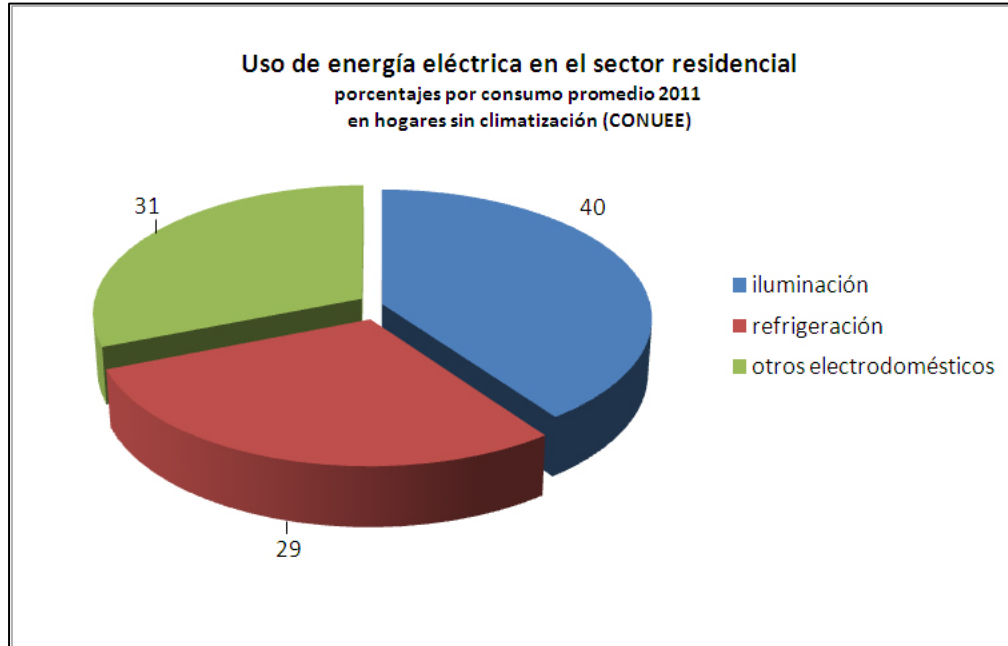


Figura 7. Uso de la energía eléctrica en el sector residencial en México en hogares sin climatización (CONUEE, 2011).

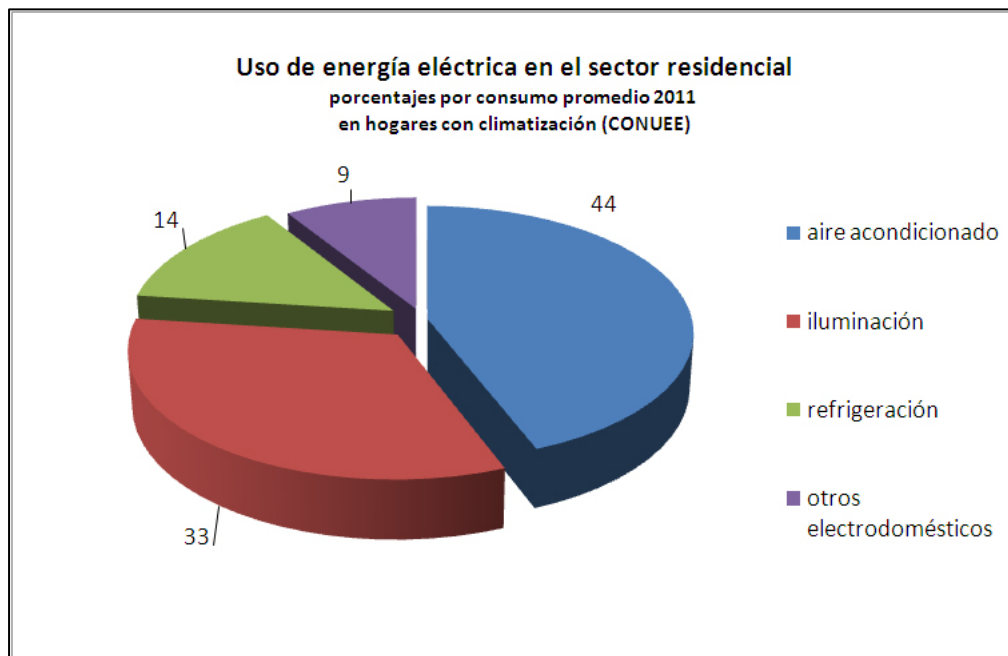


Figura 8. Uso de la energía eléctrica en el sector residencial en México, en hogares con climatización (CONUEE, 2011).

Conocido el uso que se da a la energía eléctrica en el sector residencial nacional, cabe la pregunta, ¿cómo puede disminuirse el consumo eléctrico sin afectar los usos sino solamente sus montos?

Una posible respuesta sería evitar el desperdicio en el consumo eléctrico. Uno de los principales desperdicios lo constituye la energía en espera en situaciones de uso nulo. En otras palabras, se desperdicia energía eléctrica al mantener los circuitos siempre llenos y los aparatos listos para funcionar, en horarios en que se conoce que no se utilizarán.

Dada la gravedad de la situación mencionada, resulta urgente incrementar las iniciativas de ahorro energético. Esta investigación propone el ahorro de energía eléctrica, particularmente la denominada “en espera”.¹⁹ Dicha energía en espera, es aquella que normalmente se encuentra en los circuitos eléctricos de un edificio o vivienda, manteniendo llena la instalación mientras se requiere su uso en alguna de las habitaciones o espacios. Incluye además a todos los aparatos conectados a la red eléctrica que, sin estar activos, se encuentran listos para operar. Ambas actividades, mantener los circuitos llenos y mantener los aparatos listos para su uso, representan un constante gasto de electricidad, pues implican que por la noche mientras los habitantes se encuentran dormidos, y durante el día cuando los habitantes se encuentran ausentes, estén consumiendo energía eléctrica. Los niveles de consumo son reducidos pero constantes, en períodos de tiempo en los que podrían evitarse.

¹⁹ De acuerdo con la Guía Práctica para el Ahorro de la Energía en Espera del FIDE, el “consumo pasivo de energía”, es una función incluida en aparatos eléctricos que representa una cantidad mínima de energía que se consume cuando no realizan su función principal (FIDE, 2009). Dicha definición se considera equívoca, pues confunde la energía en espera con el modo en espera de los aparatos. En esta investigación se prefiere por lo tanto, la definición propuesta por el Instituto para la Energía del Centro de Investigación Conjunto de la Comisión Europea, la energía en espera es la que se consume por los aparatos electrodomésticos cuando se encuentran apagados o cuando no están desempeñando su función principal (EC-JRC-EI, 2009). Otra definición útil es la propuesta por el Programa Federal de Administración de la Energía del Departamento de Energía de los Estados Unidos, institución para la que el consumo en espera se define como el más bajo consumo de energía producido por un aparato mientras se encuentra conectado a la red eléctrica (FEMP, 2009).

En México no existen datos precisos acerca de los montos anuales que la energía en espera representa en relación con la producción eléctrica total. Las propias instituciones mexicanas recurren a fuentes de otros países para calcular los ahorros posibles. De esta manera, el FIDE menciona un porcentaje que oscila entre el 5 y el 11% de la energía total producida, aunque aclara que la variación en países en desarrollo puede elevarse hasta un 25% (FIDE, 2009).

Con la reducción del consumo generado por energía en espera se estima un ahorro a largo plazo de hasta 2.5%, es decir, 1,341,208 MWh/año, equivalentes al consumo anual de 750,000 viviendas de nivel medio, o a un millón de toneladas de CO₂ (FIDE, 2009).

Las iniciativas actualmente vigentes que buscan reducir la energía eléctrica en espera se han enfocado principalmente a lograr acuerdos entre instancias gubernamentales y los sectores empresariales e industriales, que permitan generar estándares que estipulen reducciones o límites máximos para el consumo de energía en espera en clases específicas de aparatos. Así queda de manifiesto cuando se revisa la literatura relevante, entre la que se encuentran los acuerdos sucesivos entre la Comisión Europea y los fabricantes de televisores y aparatos de video y audio firmados en los años 2000, 2001 y 2006 (EC-JRC-EI, 2009).

De igual manera, el Programa EnergyStar en los Estados Unidos ha promovido nuevos estándares de límites máximos de consumo con fabricantes de electrodomésticos al reducir los índices de consumo requeridos para obtener la certificación. A nivel mundial se reconocen 8 diferentes programas generados en los Estados Unidos; 4 en la Unión Europea; 1 en Alemania, 1 en Australia, 1 en Canadá, 1 en China, 1 en Corea, 1 en Japón, 1 en los países escandinavos, 1 multinacional; y 3 en desarrollo en China, Brasil y Japón (Power Integrations, 2010).

Los datos mencionados hacen patente la diversidad de esfuerzos que a nivel mundial se realizan para reducir el consumo eléctrico, y al mismo tiempo, la necesidad de iniciar, fortalecer e instrumentar la participación nacional en los programas de medición, seguimiento y reducción del consumo eléctrico en espera.

Esta investigación pretende reducir el consumo de energía en espera al desactivar sub-circuitos eléctricos en situaciones en las que se sabe de antemano que no se utilizarán aparatos.

Podría pensarse que bastaría con accionar un interruptor para cortar la corriente, pero hay que considerar que sí hay aparatos que requieren de corriente constante, tales como refrigeradores, sistemas de emergencia, relojes y aparatos programados.

Ello impone la necesidad de realizar cortes selectivos de energía, motivo por el cual es necesaria una plataforma de hardware y software que permita a los usuarios realizar dicha discriminación para poder ahorrar suprimiendo consumos innecesarios, sin afectar la operación de los aparatos necesarios.

Ésa es la oportunidad de ahorro de energía eléctrica en el sector habitacional que este trabajo de investigación pretende aprovechar.

CAPÍTULO 3

ESTADO DEL ARTE DE LOS SISTEMAS DOMÓTICOS PARA AHORRO ELÉCTRICO

3.1 Sistemas de ahorro de electricidad existentes

Actualmente existen diversos sistemas diseñados para permitir el ahorro de energía eléctrica en edificaciones. Los hay tanto para edificaciones comerciales como para viviendas, no obstante lo cual se ha detectado que tienen características que dificultan su aprovechamiento en la gran mayoría de las viviendas de nivel medio ya construidas en centros urbanos de México.

Dichas características son de variada índole, algunas relacionadas con el costo del propio sistema, que lo hace inaccesible a la población de nivel medio; otras relacionadas con sus requerimientos técnicos, pues implican contar con una instalación eléctrica cuyas especificaciones no corresponden a los estándares nacionales, mucho menos cuando se habla de viviendas que pueden tener una antigüedad de más de treinta años, o que implican la colocación de partes no estandarizadas que llevarían a realizar una remodelación para instalar adecuadamente el sistema; y finalmente algunas características relacionadas con un entorno cultural diferente al mexicano, lo que dificulta su operación y asimilación como objeto de uso cotidiano en el ámbito doméstico.

No obstante lo anterior, se ha considerado importante describir y analizar los sistemas que, como el que esta investigación propone, están diseñados para permitir el ahorro de energía eléctrica en viviendas, con la finalidad de analizar sus ventajas y aportes, y en su caso justificar también la dificultad que enfrenta su aprovechamiento en el país.

Para su descripción se han clasificado los sistemas en tres grupos: los disponibles en México, los distribuidos en otros países, y finalmente los que teniendo el mismo objetivo de ahorrar energía ofrecen características *sui generis*.

Sistemas de ahorro eléctrico disponibles en México

BTicino

Esta empresa fabrica en México algunos de los componentes de su sistema, aunque importa otros y el diseño del mismo lo ha realizado la empresa matriz ubicada en Milán, Italia (BTicino S.p.A.), en colaboración con el equipo de diseño del Legrand Group, corporación a la que pertenece desde 1989 y que ha sido responsable de la adaptación del sistema europeo al americano.

El sistema se comercializa como una solución para automatizar una residencia, una de cuyas funciones es la “gestión de la energía”. Se denomina MyHome, y consiste en una serie de dispositivos modulares que pueden integrarse en varias de sus líneas decorativas (Axolute, Light, Living, Matix). Cada uno de los dispositivos puede utilizarse en un sistema armado a medida de la vivienda de que se trate, siendo exclusivamente compatibles con los dispositivos de la marca. Requieren de la instalación de cableado dedicado que varía en complejidad desde un solo hilo hasta 14 hilos cuando además de la gestión energética se agreguen funciones como las de control de audio, video, temperatura y ambientes lumínicos, así como de automatización con dispositivos motorizados y de seguridad o vigilancia.

En su versión más reducida (3 módulos) es compatible con las cajas eléctricas estandarizadas que se emplean en México, restringiendo su colocación a la posición vertical en el caso de las viviendas construidas. Para viviendas nuevas o en remodelación permiten utilizar cajas en posición horizontal desde 3 y hasta 7 módulos, lo que requiere cajas y canalizaciones especiales, además de su correspondiente cableado. Frecuentemente los dispositivos de regulación de corriente y de automatización requieren de un diseño específico de circuitos, que aunque es estandarizado en otros países, es raro encontrar en México.



Figura 9. Panel de control del sistema domótico de BTicino, montado en una placa decorativa serie Living (BTicino, 2010).

Por otra parte, la amplia gama de accesorios y placas decorativas disponibles en sus diferentes líneas, permite una diversidad de opciones que pueden adaptarse fácilmente a diferentes tipos de interiorismo, dando así al usuario final la posibilidad de integrar el sistema al hábitat local.

El costo del sistema es variable, según las dimensiones de la vivienda y de la cantidad y tipo de funciones a controlar.

Lutron

Lutron es una empresa cuya sede internacional se encuentra ubicada en Coopersburg, Pennsylvania. Durante casi cincuenta años, se ha dedicado a la introducción, mejora y automatización de potenciadores de energía para iluminación comercial y residencial.

Las opciones que actualmente comercializa hacia el ahorro energético consisten básicamente en una adecuada selección de lámparas y en una adecuada atenuación de la iluminación según los hábitos de uso.

Cuenta también con un sistema de automatización en el que se incluyen también opciones para desactivar los dispositivos de fuerza con base en una programación previa en una computadora en la que se haya instalado el software propietario que la empresa comercializa. La tecnología que requiere este sistema implica la instalación de un watthorímetro con salida digital en lenguaje ZigBee o en protocolo Ethernet. Dicha salida puede interconectarse en el caso del lenguaje ZigBee directamente con un receptor de protocolo abierto que a su vez transmite señales en un lenguaje propietario de radiofrecuencia hacia otros dispositivos inalámbricos. La salida Ethernet puede interconectarse con el sistema a través de un concentrador y directamente a una computadora conectada por red alámbrica o inalámbrica con los otros dispositivos.

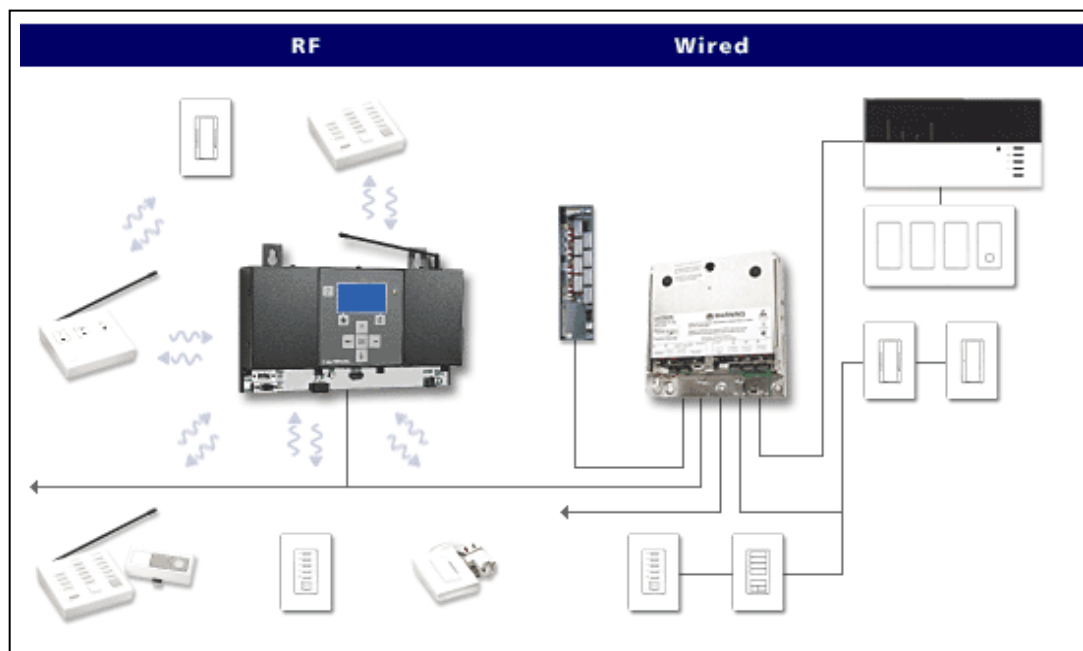


Figura 10. Diagrama que muestra los dispositivos que pueden usarse para la operación doméstica de un sistema Lutron (Pro-comm, 2009).

De acuerdo con lo descrito anteriormente, se encuentran varios obstáculos para su aprovechamiento en México. El primero de ellos tiene que ver con el wathorímetro inteligente, pues todavía la CFE no ha regulado el uso de dichos dispositivos ni cuenta con ellos para uso doméstico. A pesar de no ser un componente indispensable del sistema, la ausencia del wathorímetro sí limita las capacidades del sistema en tanto no se puede llevar un seguimiento completo del consumo.

Cuando el sistema se instala, aún sin el componente anterior, sí permite un ahorro de energía, pero requiere forzosamente una computadora como terminal que permita programar y operar los dispositivos, obligando al usuario final en los casos de uso doméstico, a aprender el funcionamiento del software.

A pesar de los factores citados, este sistema presenta una ventaja importante, que es el hecho de no requerir de un cableado dedicado, fuera de la red Ethernet, que puede ser la misma red de datos existente en el inmueble de que se trate. Como desventaja puede decirse que las redes de datos instaladas en las viviendas de nivel medio en México son muy reducidas, y pocas veces incluyen un alcance total en los espacios interiores, además de que frecuentemente son afectadas por interferencias producidas por saturación de señales o por los propios sistemas constructivos.

El costo del sistema es elevado, pues todos los componentes se importan, frecuentemente por encargo, pues el mercado de la automatización en México es reducido.

Adicionalmente cuenta esta empresa con un sistema denominado EcoSystem, que consiste en una serie de dispositivos conectados en una red inalámbrica y controlados por un procesador central encargado de determinar la intensidad lumínica mediante la medición de la luz natural, la programación de tiempos de operación y la detección de presencia en los espacios involucrados, a través de balastos electrónicos que regulan la potencia a lámparas fluorescentes y halógenas.

Dicho sistema tiene un buen número de características que resultan convenientes para usos comerciales, y aunque técnicamente puede funcionar bien en un entorno doméstico, la sofisticación de su tecnología lo hace excesivamente costoso para el segmento de la vivienda media que se busca atender. Además de ello, la necesidad de utilizar lámparas especiales en el caso de las fluorescentes compactas encarece también el mantenimiento, pues en México son muy pocos los distribuidores de esas lámparas, cuyo costo es mayor al de las lámparas fluorescentes comunes.

Crestron

Esta compañía, con sede en Rockleigh, New Jersey, se dedica a la automatización de espacios comerciales y residenciales, contando con una amplia gama de productos para el control de dispositivos multimedia, de audio, video e iluminación. También fabrican y distribuyen dispositivos motorizados de automatización, así como paneles digitales de control desde los más simples hasta los más sofisticados y lujosos.

En cuanto al ahorro de energía se refiere, distribuye soluciones en iluminación y control de dispositivos de fuerza vía atenuación por potenciómetros, centrando la atención en la reducción de los niveles de iluminancia en las áreas en las que no se necesita la intensidad completa por ser de tránsito o estar desocupadas.

La principal oferta de esta empresa hacia el ahorro de energía consiste en un sistema denominado Green Light, que consta de una red de bajo voltaje para el control de interruptores y lámparas, llamada infiNet, y que opera en conjunción con una serie de transmisores/receptores de señales de radiofrecuencia.

Aunque la tecnología implicada no es compleja, su instalación sí requiere de personal calificado, sobre todo cuando se requiera realizar el cableado dedicado, pues deberán



Figura 11. Ejemplos de dispositivos Crestron para automatización de viviendas a través de su red inifiNET (Crestron, 2010).

instalarse dispositivos y cables especiales para conformar el sistema. Adicionalmente, el control principal de energía está basado en el ahorro por atenuación de la iluminación, lo que implica un uso mayoritario de lámparas incandescentes y halógenas.

El principal valor de venta que promueve esta empresa en México es el goce de la automatización mediante la generación de atmósferas sofisticadas en los espacios residenciales, por lo que puede decirse que el ahorro queda en un plano secundario frente al lujo y a la sofisticación tecnológica. Como consecuencia de lo anterior, en México se distribuye principalmente en el sector de la vivienda alto.

X10PRO

Esta marca ofrece dispositivos modulares para el encendido y apagado de aparatos y lámparas, mediante comunicación a través de comunicaciones por la línea de poder (PL). Se utiliza el protocolo X10 que es un estándar industrial abierto.

Su distribución en México se encuentra limitada a tres proveedores que surten el material como subproducto a los profesionales de las instalaciones. No se tiene una difusión amplia respecto a los productos, que frecuentemente se usan como elementos de valor agregado a una instalación ordinaria.

Son producidos por la empresa del mismo nombre, ubicada en los Estados Unidos. Ello implica que, a pesar de tratarse de una tecnología de bajo costo, los aranceles, fianzas y fletes hacen que se eleve el precio de venta al público en México, aunque no llega aún así a considerarse una solución de precio elevado.

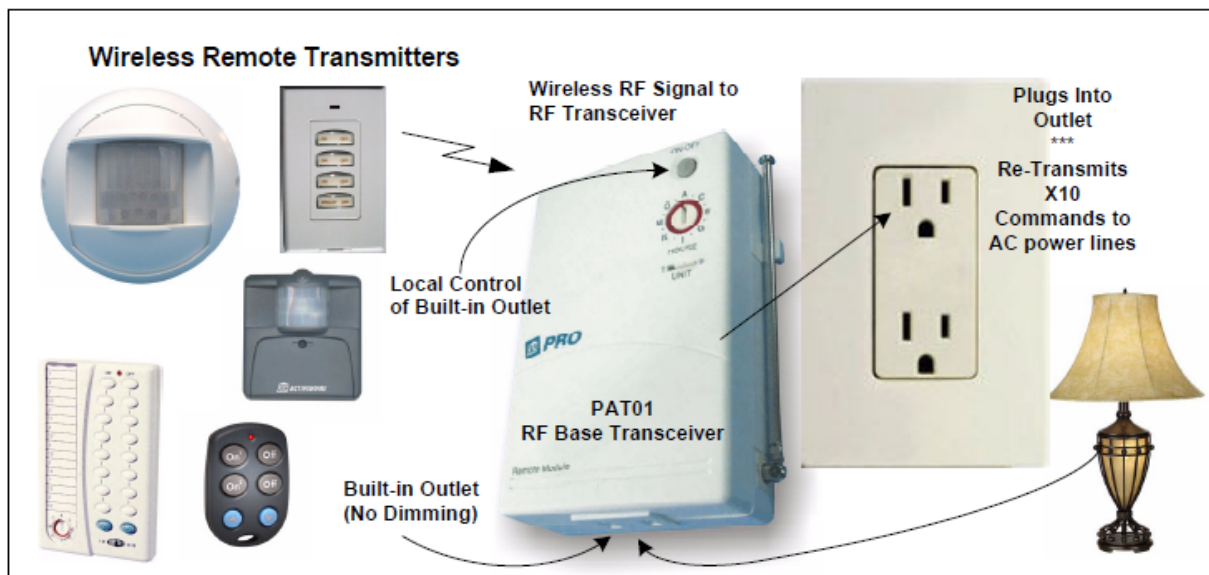


Figura 12. Diagrama donde se muestran los dispositivos del sistema X10 PRO y la relación operativa entre dispositivos (X10 PRO, 2007).

El sistema tiene un límite de crecimiento establecido por la capacidad reducida de los dispositivos para comunicarse entre sí, además de la dificultad que existe para encontrar en el momento adecuado los módulos específicos requeridos, en el mercado nacional.

Dado que suele distribuirse entre profesionales, implica más un conocimiento del sistema que lleve a recomendarlo al usuario final que una solicitud directa del mismo.

Sistemas de ahorro eléctrico disponibles en otros países

Sistemas basados en el protocolo X10

El protocolo X10, como se explicó anteriormente, consiste en el empleo de la fase en un sistema eléctrico, para la transmisión de señales en la intersección de las ondas eléctricas. Dichas señales pueden ser decodificadas por un dispositivo receptor, y transformadas en acciones específicas como la conexión o desconexión de un circuito específico.

El protocolo fue desarrollado por la firma escocesa PICO Laboratories, como un estándar industrial abierto, es decir como un sistema accesible y modificable sin necesidad de licenciamiento.

Sus principales ventajas son que no necesita una instalación dedicada, sino que aprovecha la ya existente, y su reducido costo al no requerirse ningún pago por el uso de la tecnología.

Su desventaja principal es su susceptibilidad a las interferencias, así como la limitación de alcance a un solo circuito de tamaño reducido.

Existen actualmente muchas empresas que se dedican a diseñar y producir dispositivos basados en este estándar, variando los dispositivos de interacción humana según las marcas. Algunas emplean paneles dedicados, otras interfaces de cómputo, y otras más, controles remotos y mecánicos directos. Los costos de importación han evitado una amplia difusión en México.

Sistemas basados en INSTEON

Insteon es una tecnología generada por la empresa SmartHome de los Estados Unidos. Consiste en un sistema dual de comunicaciones a través de la fase (PL) y de radiofrecuencia. Es compatible con X10 y emplea protocolos de comunicación puerto a puerto, lo que implica que no hay un dispositivo central, sino que cada dispositivo es capaz de emitir una señal que viaje a través de los otros dispositivos hasta alcanzar su objetivo, indistintamente de cuál sea el dispositivo emisor y cuál el receptor final.

Su ventaja es que implica un uso redundante de tecnologías que permite asegurar eficazmente la transmisión y recepción de señales. Su principal desventaja es que se trata de una tecnología registrada que requiere de licenciamiento para su uso.



Figura 13. Dispositivos que utilizan el sistema Insteon (VIP Systems, 2009).

Sistemas basados en redes Z-Wire y ZigBee

Son sistemas que consisten en el establecimiento de una red inalámbrica por radiofrecuencia, que opera en un rango específico de frecuencias para transmitir señales a través de un código especial. Dichas redes se forman al configurar dispositivos de emisión/recepción en un espacio determinado.

Una de sus principales desventajas es que cada solución debe configurarse especialmente, para asegurar la adecuada identificación de todos los dispositivos que conforman la red, con la finalidad de evitar errores en la operación. Ello lleva, dependiendo del tamaño de la red a realizar un complicado proceso de configuración, que normalmente no lleva a cabo el usuario final, sino personal autorizado por los distribuidores.

Al utilizar, además, codificación especial, no se tiene compatibilidad completa con otros dispositivos y se requiere de licenciamiento o compra de una parte del sistema a la empresa desarrolladora.

Sistemas mixtos

Existe una gran diversidad de sistemas que combinan algunas de las tecnologías mencionadas, o que suman algunas más con diverso grado de complejidad. A dichos sistemas se les designa como mixtos por esa razón. Por lo general se trata de empresas que diseñan soluciones con sistemas de comunicaciones redundantes para proyectos o espacios específicos.

En México poco a poco comienza a crecer mercado para dichos sistemas, aunque la mayor parte de las empresas han preferido hasta el momento, distribuir sistemas ya desarrollados o módulos listos para su aplicación, más que diseñar productos propios. Más adelante se mencionarán algunas de las tecnologías en uso, que aunque no son las mayoritarias presentan ventajas o características que deberían considerarse al desarrollar un sistema de ahorro eléctrico.

NiceWay

La empresa italiana Nice S.p.A. de Oderzo, propone una serie de soluciones, no para el ahorro energético, sino para la automatización de la vivienda. Dentro de su oferta de automatización se cuenta una serie de transmisores y receptores que se adaptan a diferentes usos, como control remoto universal, como placa de pared, como control tipo pantalla, o como dispositivo portátil de control en forma de llavero. La finalidad es controlar cada uno de los módulos que previamente deben colocarse en las cajas eléctricas o en los aparatos, mecanismos o sensores, hasta un límite de 240. Las comunicaciones se realizan exclusivamente por radiofrecuencia e implican la designación previa de números para los módulos instalados, de tal manera que puedan operarse mediante un teclado numérico, o bien ser programados dentro de un grupo que se asigna a una tecla de los controles remotos.



Figura 14. Diferentes monturas para el módulo de control remoto del sistema NiceWay (Nice, 2009).

Las ventajas que ofrece consisten en que no se necesita cableado dedicado y en que se proporcionan diferentes soluciones con estética muy cuidada para poder adaptarse a las diferentes personalidades y formas de uso que los usuarios seleccionan.

Las principales desventajas son que su uso está previsto para la automatización y no para la reducción del consumo, lo que implica en ocasiones un gasto adicional y no una reducción de la electricidad consumida; adicionalmente, requiere de instalación especializada, dado que la configuración del sistema resultaría compleja para un usuario no capacitado. Finalmente, el costo de los módulos y los controles resulta elevado, aún cuando puede resultar más barato, según la cantidad de dispositivos requeridos, que el ofrecido por la compañía bTicino anteriormente mencionada.

GreenSwitch

Se trata de un sistema diseñado específicamente para el ahorro de energía eléctrica en el sector de la vivienda, por lo que se considera como competencia directa del producto que se busca desarrollar en esta investigación.

El sistema en cuestión es producido en los Estados Unidos, y se basa en tecnología de comunicación inalámbrica por radiofrecuencia para interconectar el panel central de control con una cantidad variable de cajas de contactos que incorporan un receptor y antena. Todos los dispositivos del sistema están identificados por una señal lumínica de color verde. Básicamente, la acción a realizar por el usuario consiste en subir o bajar de posición un deslizador ubicado en el panel central. Dicha acción permite conectar o desconectar todas las cajas de contactos del sistema, cortando la energía hacia los aparatos ahí conectados.

Una ventaja importante del sistema es la sencillez de operación, que permite tener una idea clara del funcionamiento tanto para quien realiza la instalación como para quien opera el sistema.

La estrategia de distribución y venta de la compañía que produce este sistema implica la venta de soluciones específicas, diseñadas ex profeso para cada caso, lo que representa en el caso de México un obstáculo porque hasta el momento no se cuenta

con distribuidores en el país, además de que hace indispensable la instalación por personal calificado autorizado por la firma. Ello evita que el propio usuario pueda tener acceso a los módulos del sistema y que arme así su propia solución.



Figura 15. Módulos del sistema GreenSwitch. El primero de la izquierda, arriba, es el interruptor principal.

Otro punto que debe mencionarse es la identificación de los módulos del sistema mediante indicadores luminosos, que aunque son muy pequeños, realmente implican un consumo de energía adicional. Más adelante se cuantificará el consumo de dispositivos similares para valorar la conveniencia de su uso, o la condición deseable de evitarlos, en su caso.

Vitrum

Hacia el final del desarrollo de esta investigación se presentó en el mercado europeo un nuevo sistema de automatización doméstica denominado Vitrum. Dicho sistema, de origen italiano, emplea tal como el sistema que se propone aquí, una doble vía de comunicación alámbrica e inalámbrica para controlar la automatización de una vivienda. Sin embargo, se diferencia claramente de lo aquí propuesto por estar dirigido a un segmento de mercado alto, pues los materiales, acabados y tecnologías empleados hacen que tenga un elevado costo, aún para el mercado europeo.

Se consideró importante mencionarlo aquí porque tiene similitudes importantes con el sistema que esta investigación pretende aportar. En primer lugar, como ya se mencionó, los principios de operación de las tecnologías son muy similares. Además de ello, la interfaz de usuario es también muy parecida, lo que desde el punto de vista del autor no hace sino confirmar la vigencia del diseño propuesto. Sin embargo, las concesiones estéticas que el sistema Vitrum incorpora a su interfaz de usuario, obliga al uso de componentes caros, lo que en esta investigación siempre se evitó.

Por otra parte, Vitrum incluye también un módulo de interfaz de comunicaciones tipo WiFi que permite operar el sistema desde dispositivos como tabletas o teléfonos inteligentes, algo que está señalado como una ampliación futura para el sistema que aquí se propone.

Otra similitud con esta investigación es el hecho de que la estética básica de Vitrum considera valores como la simplicidad y el vanguardismo tecnológico para indicar mediante luces el estado de los aparatos, además de permitir también el uso de otros colores y texturas según el entorno en el que se vaya a emplear.



Figura 16. Placa de apagador doble, sistema Vitrum.

Otros tipos de dispositivos

Existen también en el mercado dispositivos encaminados al mismo objetivo de reducir el consumo de energía eléctrica en espera, que sin embargo no constituyen un sistema que permita la operación generalizada en todas las áreas de una vivienda. Se trata más bien de controlar el consumo en ubicaciones específicas dentro de un inmueble, trátase de una oficina, de una estación de cómputo o de un sistema de entretenimiento.

Uno de los más difundidos en los últimos años en diversos países, incluido México, consiste en una barra de contactos que cuenta con un control remoto inalámbrico para hacer la desconexión de sus tomacorrientes o de una parte de ellos. Por lo general operan por medio de rayos infrarrojos o emisiones de radiofrecuencia.

Resultan imprácticos para controlar el consumo de una vivienda completa, pues debería operarse un control remoto por cada barra, lo que ocasionaría la necesidad de accionar los interruptores de cada una de las barras en uso al querer desconectar o encender los aparatos conectados, haciendo más bien complejo su uso.

No obstante lo anterior, son un tipo de dispositivo muy útil cuando la necesidad de ahorro se restrinja a un solo tomacorriente o a un conjunto de aparatos colocados en un solo punto de una edificación.

La marca que principalmente se distribuye en México es la estadounidense Belkin, aunque la manufactura de los productos mencionados se realiza en China.

Más recientemente, diversas manufacturas chinas se distribuyen con diferentes marcas, pero en lugar de controlar barras de contactos controlan varios tomacorrientes individuales a partir de un control remoto común con un solo botón de encendido o con botones individuales hasta un número de 3 o 4 según la versión.

Este tipo de sistemas constituyen un avance, pues aunque sea de manera reducida y poco práctica contribuyen a la concienciación de la población en relación con el tema del ahorro de energía, y permiten reducir aunque tal vez mínimamente el consumo de energía generado por aparatos que permanecen conectados permanentemente.



Figura 17. Sistema genérico K-120, distribuido en México por Marke y Banamex.



Figura 18. Sistema ByeStandby, distribuido en el Reino Unido.

3.2 Análisis comparativo de sistemas

Para poder comparar de manera objetiva los sistemas antes mencionados, y establecer su viabilidad de uso en el mercado mexicano, particularmente en el segmento medio al que se destina esta investigación, se decidió realizar un análisis comparativo considerando sus capacidades y su precio.

De esa manera pudo obtenerse una cotización de los diferentes sistemas para poder valorar las diferencias que en cuanto a costo de adquisición implica cada uno de ellos, pudiendo más adelante a partir de ello, definir las características convenientes en un sistema diseñado específicamente para el segmento de mercado seleccionado.

Dado que varios sistemas se venden por piezas, y algunos en paquetes previamente configurados, se estableció una sola configuración mínima para poder realizar el análisis. Dicha configuración consiste en: un módulo principal de control y dos módulos secundarios, considerando además todo componente que cada sistema requiera para su funcionamiento.

En la Tabla 2. se puede observar la comparación de características básicas, así como el costo de la configuración mínima descrita. Los valores monetarios representan el precio de venta al público, sin incluir impuestos, en el momento de elaboración de la tabla y están dados en pesos mexicanos. Las áreas sombreadas indican las características que se consideran deseables desde el punto de vista de esta investigación.

Se incluyen en la tabla los sistemas Nice, GreenSwitch y Vitrum, que por sus características se consideró importante incluirlos en el análisis, a pesar de no tener distribuidores directos en México.

Marca	Nombre Comercial	Distribución en México	Comunicación alámbrica	Comunicación Inalámbrica	Confiabilidad de las comunicaciones	Ahorro de energía	Expansibilidad	Precio de venta
BTicino	BTicino MyHome	O	dedicada		O	potencia	O	\$18,400
Lutron	Maestro / HomeWorks QS	O	dedicada	O	O	potencia	O	\$17,360
Crestron	infiNET	O	dedicada	O	O	desconexión	O	\$12,250
X10Pro	X10Pro	O	O	O		desconexión	O	\$ 6,850
SmartHome	Insteon	O		O	O	potencia	O	\$23,312
Nice	NiceWay		dedicada		O	potencia	O	\$26,211
GreenSwitch	GreenSwitch		O	O	O	desconexión	O	\$ 9,490
Vitrum	Vitrum		O	O	O	potencia	O	\$13,763
Genérico	K-120	O		O		desconexión		\$ 1,200

Tabla 1. Análisis comparativo de sistemas de ahorro eléctrico. El sombreado indica las características deseables de cada sistema, las zonas blancas indican características ausentes o no deseadas.

De los sistemas incluidos en el análisis, solamente tres de ellos no están actualmente disponibles en el mercado mexicano, y como se explicó anteriormente, se les incluyó como referencia por sus características de operación de precio. Dichos sistemas son Nice de Italia, GreenSwitch de los Estados Unidos, y Vitrum de Italia.

En cuanto al tipo de comunicación entre dispositivos, hay cinco sistemas que ofrecen tanto comunicación alámbrica como inalámbrica, dichos sistemas son Lutron, Crestron, X10Pro, SmartHome y Vitrum. De ellos, el único que presenta problemas de confiabilidad es X10Pro, dado que es muy propenso a sufrir interferencias en las comunicaciones, sobre todo las de tipo alámbrico. Los otros cuatro son muy confiables pero tienen un precio de venta elevado.

En cuanto a la posibilidad de ahorrar energía con el sistema, todos mencionan la característica como parte importante de su oferta, sin embargo hay que aclarar que el ahorro que se puede producir depende de las características con las que se configure el sistema y de la forma en la que se use. Los sistemas de BTicino, Lutron, SmartHome, Nice y Vitrum son principalmente sistemas domóticos, y el ahorro de energía se puede dar si el usuario decide instalar potenciómetros, sensores de presencia o contadores de tiempo, ya que el ahorro de energía ocurre por disminución de la potencia o reducción del tiempo de uso y no por el solo empleo de los sistemas. Con la configuración mínima cotizada no se obtiene ningún ahorro.

Los otros sistemas, Crestron, X10Pro, GreenSwitch y el genérico K-120, sí implican ahorro de energía por el solo hecho de usarlos, dado que generan el ahorro mediante desconexión. Esto es, mientras esté inactivo un módulo, el suministro de energía queda suspendido para los aparatos que tenga conectados y solamente se restablece al activar el módulo.

De acuerdo con la Tabla 2, el sistema más barato es el genérico K-120, que con un precio de venta de \$1,200 queda muy a distancia del resto de sistemas. Sin embargo, no se tomará como referencia, dado que es el único sistema del conjunto analizado que no puede expandirse para abarcar las necesidades de una vivienda completa, además de que, al ser operado a través de un control remoto de tipo infrarrojo, tiene que dirigirse individualmente a cada uno de los módulos de tomacorriente para apagarlos o encenderlos, lo que lo hace sencillo de usar cuando se colocan en una sola habitación, pero muy impráctico cuando están distribuidos en diferentes espacios de la vivienda.

El siguiente sistema en orden de precio de venta es el X10Pro, que sí permite su expansión con diferentes módulos, y que ofrece comunicaciones tanto alámbricas como inalámbricas, presentando solamente el problema de confiabilidad por interferencia, tal como se mencionaba anteriormente. Sin embargo, dado que las

interferencias dependen mucho del entorno, del diseño y sistema constructivo de la vivienda, así como del estado de la instalación eléctrica y del uso que se haga del sistema, los mismos dispositivos pueden funcionar con diferente resultado en diferentes viviendas. No obstante lo cual, es un sistema que se encuentra al alcance de los segmentos de mercado que interesan a esta investigación, por lo que se tomará como referencia de precio para el sistema a desarrollar, constituyendo el máximo precio deseable.

De acuerdo con lo enunciado, puede concluirse que desde la perspectiva del desarrollo de productos tecnológicos, si se logra obtener un sistema que sea susceptible de producirse en serie, con un precio de venta similar al del sistema X10Pro pero con un mayor grado de confiabilidad, ofreciendo también comunicaciones alámbricas e inalámbricas, capacidad de expandirse y un diseño a la altura de los sistemas más caros, desde dicha perspectiva podrá considerarse que los objetivos de la investigación se han cumplido.

CAPÍTULO 4

TECNOLOGÍA

4.1 Transferencia de tecnología

El proceso mediante el cual las innovaciones tecnológicas se dan a conocer por las instituciones o empresas que las han desarrollado con la finalidad de que puedan aprovecharse por los sectores productivos o por la gente en general, se denomina Transferencia de Tecnología (TOT).²⁰

La finalidad de la TOT es facilitar la inserción del conocimiento nuevo generado a los procesos industriales de fabricación e incluso permitir que pasen a formar parte de los productos de consumo en sí mismos, de esta manera se logra potenciar el desarrollo y dar valor económico a las inversiones en investigación.

La consecuencia directa de este proceso es el mejoramiento del nivel tecnológico aprovechado en el país, sociedad o sector involucrado. Dicho mejoramiento puede traducirse en un incremento de la calidad de vida y en un incremento en la generación de riqueza monetaria. Es por ello que normalmente son los gobiernos y las instituciones públicas dedicadas a la investigación los primeros interesados en que la TOT se facilite e incremente. No obstante lo cual, hay que considerar que mucha investigación se produce también en los sectores privados, dado que la innovación es una de las principales fuentes de mejoramiento de productos y servicios y por lo tanto también de capitalización de utilidades.

Habiendo aclarado el carácter deseable de la TOT para los sectores público y privado, es necesario mencionar ahora algunos de los principales problemas que este proceso implica.

En cuanto al sector público se refiere, los principales problemas se centran alrededor de dos puntos: alcanzar el nivel requerido de innovación tecnológica y contar con los

²⁰ La Transferencia de Tecnología se conoce internacionalmente por sus siglas en inglés TOT (*Transference of Technology*), o por las expresiones *Tech Transfer* o *TecXfer*.

mecanismos legales y administrativos que permitan la transferencia efectiva hacia los sectores productivos. El interés de los gobiernos en la TOT se da por las posibilidades de crecimiento económico que genera en el mercado interno, lo que a su vez permitirá en un plazo más largo obtener los beneficios sociales que se mencionaron.

Por nivel requerido de innovación tecnológica se entiende que el resultado de una investigación sea directamente aplicable en su campo. Esa condición no siempre se logra debido a que los resultados de una investigación no son predecibles con el suficiente grado de certidumbre en todos los casos, y también a que se requieren acciones posteriores que permitan que los resultados obtenidos efectivamente se traduzcan en ventajas sociales, técnicas o comerciales. Ello implica la formación de un equipo que logre desarrollar lo obtenido hasta el nivel necesario para su aprovechamiento.

El nivel requerido de innovación tecnológica puede medirse si se consideran tanto los resultados de la investigación como la serie de pasos que a partir de ellos deberán seguirse hasta obtener un sistema, producto o servicio capaz de ser usado u operado por personas ajenas a los equipos de investigación y desarrollo.

El USDD utiliza su propia escala para medir el nivel de innovación tecnológica, en ella se utilizan los dígitos del 1 al 9 para expresar la lejanía (1) o cercanía (9) al nivel de desarrollo aprovechable que representa el resultado de una investigación. El dígito asignado recibe el nombre en inglés de *Technology Readiness Level* (TRL)²¹, en español es poco frecuente la calificación de los resultados con base en un índice, pero se ha traducido el concepto como *nivel de madurez tecnológica*. En el plano internacional esta escala TRL es ampliamente usada, pues es una referencia básica

²¹ La metodología de evaluación TRL tuvo su origen en el *Jet Propulsion Laboratory* de la NASA en 1979, donde se le usó por primera vez para medir las fases de desarrollo del Jupiter Orbiter. Al encontrarse convenientes sus características para organizar y analizar resultados tecnológicos pasó a otras agencias gubernamentales de los Estados Unidos, convirtiéndose en herramienta generalizada en los Servicios Analíticos (ANSER) del Departamento de Defensa (USDD) y posteriormente en la Fuerza Aérea.

en los Estados Unidos y Canadá, donde inclusive las universidades la usan para evaluar sus resultados de investigación tecnológica.

Específicamente, los dígitos TRL representan lo siguiente:

- 1 – 2 Investigación tecnológica básica
- 2 – 3 Investigación para pruebas de factibilidad
- 3 – 5 Desarrollo de la tecnología
- 5 – 6 Demostración tecnológica
- 6 – 8 Desarrollo de sistemas y subsistemas
- 8 – 9 Pruebas, lanzamiento y operación

En las universidades e instituciones públicas se tiende a privilegiar la investigación TRL-1 a 3, en tanto que los sectores productivos se enfocan principalmente en los niveles TRL-7 a 9. Esto implica un faltante en los niveles TRL-3 a 6 que no siempre es fácil de cubrir, dado que se requiere de personal especializado con tiempos y recursos suficientes para encontrar las formas viables de aplicar la tecnología generada a productos o servicios que puedan demostrar su utilidad a los sectores productivos.

En los países desarrollados existe la figura del *Technology Broker*²², persona o empresa encargada de encontrar los puntos de enlace entre la tecnología básica desarrollada y las aplicaciones posibles en la industria. No siempre a través del conocimiento propio, sino frecuentemente como gestores que contactan a las industrias y personas con posibilidades de aprovechar una innovación. Es común que esas agencias o personas contemplen portafolios de investigación y de comercialización, a veces con carácter exclusivo, para garantizar la utilidad y mantener el riesgo en márgenes aceptables para ellos. Sin embargo, los *Technology Brokers* no son instancias comunes en los países en desarrollo.

²² *Technology Broker* puede traducirse como Agencia de Tecnología o Corredor Tecnológico.

Trabajar para lograr los niveles TRL adecuados se ha intentado frecuentemente mediante *business clusters*²³ que involucren I+D, o bien a través de programas de vinculación que involucren Capital de Riesgo (VC)²⁴. Sin embargo, en los países en vías de desarrollo es un problema común destinar los pocos recursos disponibles a investigación básica para luego encontrarse que se carece de los recursos, la experiencia y el personal adecuado para alcanzar TRL-3 a 6. Se depende así de las empresas dispuestas a emplear VC para probar las posibilidades de la investigación obtenida y decidir si vale la pena realizar el desarrollo necesario para su aprovechamiento.

El otro problema mencionado, de contar con los mecanismos legales y administrativos que permitan la eficaz TOT, se refiere a las dificultades que pueden encontrarse cuando se trata de aprovechar comercialmente una tecnología por una empresa que no la ha desarrollado. Resolver asuntos de propiedad intelectual, propiedad tecnológica, patentes, licenciamientos, derechos de explotación y restricciones de uso, es con gran frecuencia algo complicado de negociar, acordar, tramitar y realizar. Ello cuando las instituciones involucradas están envueltas en un contexto cuyo marco legal contempla dichas acciones. Cuando el marco legal es incompleto o intrincado, lo que es frecuente en países en vías de desarrollo, lograrlo es una verdadera hazaña, convirtiéndose en una excepción y no en lo común, como sería deseable.

²³ Por *business cluster* se entiende una concentración de negocios, servicios o instituciones asociadas en la búsqueda de una solución a un problema o necesidad común, frecuentemente se trata de concentraciones multidisciplinarias. Originalmente se aplicó el término a las asociaciones geográficamente ventajosas desde el punto de vista administrativo y comercial, tal como lo formuló Michael Porter (1990) en su obra *La ventaja competitiva de las naciones*, extendiéndose posteriormente el término a otros aspectos.

²⁴ El Capital de Riesgo es aquél que se destina a inversiones de las que no se tiene garantía de rendimiento. Es el caso de la investigación tecnológica básica, pues desde un inicio no se conocen sus posibilidades en cuanto a TRL-3 a 6 que permitan hacer cuantificaciones de utilidad a partir de TRL-7. En inglés se conoce como *Venture Capital* (VC).

Dadas las situaciones descritas, puede comprenderse que la TOT no resulte algo sencillo excepto en los casos en los que se constituye como un objetivo de los gobiernos, instituciones y empresas involucrados. Sin embargo, la TOT es imprescindible para una nación que se haya propuesto alcanzar un buen nivel de desarrollo económico e industrial, como es el caso de México. Es por ello que resulta de suma importancia encontrar las estrategias que permitan llevar a cabo la Transferencia de Tecnología en los sectores críticos para el país, entre los que se encuentran desde luego el energético, el eléctrico y electrónico.

Esta investigación se propone realizar una aportación de desarrollo que pueda ser ubicada en un rango comprendido entre TRL5 y TRL9. Ello implica que deberán explorarse las tecnologías que lo faciliten, deberán probarse en cuanto a su funcionamiento, y deberá además realizarse el proceso de diseño que permita obtener un producto del que puedan demostrarse su uso y las características formales más importantes.

4.2 Apropiación tecnológica

Una estrategia que puede constituirse como sustituto o complemento de la TOT es la apropiación tecnológica, entendida como el aprovechamiento directo de tecnologías TRL-3 a 9 adaptándolas o usándolas para fines específicos. Dicha apropiación tecnológica puede darse de forma directa, cuando un gobierno conviene con una empresa desarrolladora o propietaria de una determinada tecnología, la revelación de los principios de operación para su uso licenciado o compartido. De esta manera, las partes involucradas se vuelven socios tecnológicos y ello permite la adaptación de la tecnología para la solución de problemas específicos aún no contemplados en sus fases iniciales, pero convenientes para los escenarios de aprovechamiento.

Un ejemplo muy conocido de apropiación tecnológica directa es el caso de Japón. Durante la posguerra, en los años cuarentas y cincuentas del siglo pasado, la economía japonesa, devastada por la guerra, se vió beneficiada por la maquila de productos eléctricos y electrónicos promovida por los Estados Unidos. Dicha maquila, sin embargo, no se quedó en la simple manufactura de productos, sino que los japoneses lograron negociar compartir los principios de funcionamiento de los productos maquilados, lo que permitió posteriormente el surgimiento de empresas japonesas dedicadas a realizar sus propias versiones de los productos que se comenzaron a maquilar. Y aunque al principio las versiones japonesas eran conocidas por sus deficiencias, poco a poco lograron introducirse procesos de mejora que permitieron invertir la situación y hacer que los productos japoneses se consideraran eficientes e innovadores, al encontrar los problemas de la tecnología básica empleada y darles solución, generando así nuevo conocimiento que era directamente aplicado a los productos que fabricaban. Fue el inicio del proceso que llevó a Japón a ser un país generador de tecnología de vanguardia.

Un caso diferente es el de China, que en lugar de realizar una apropiación tecnológica directa como en el caso anterior, decidió llevar a cabo una apropiación forzosa basada en la copia de productos y su paulatina mejora a través de modificaciones no planificadas realizadas sobre la marcha durante la producción misma. Ello requirió un tiempo más largo de mejoramiento de los productos, pero estaba respaldado por las ventajas que representaban la masificación y la mano de obra barata.

Aunque se trató en muchos casos de un proceso ilícito, de acuerdo con los marcos legales internacionales vigentes, efectivamente lograron mejorar sus materiales, procesos de producción, calidad general del producto y, al realizarlos en grandes cantidades, pudieron ofrecerlos al mercado internacional a precios ínfimos, inigualables en países con mano de obra calificada y producciones moderadas.

De esta manera, China logró ofrecer atractivos planes de fabricación y maquila con tiempos y costos mínimos, lo que alentó a empresas de todo el mundo a trasladar allá su producción. En cuanto ello comenzó a realizarse, el gobierno chino incluyó cláusulas TOT en sus contratos de maquila, logrando adquirir o compartir así los conocimientos que sus propias instituciones no pudieron generar a través de la copia y colocándoles en una posición muy ventajosa para desarrollos tecnológicos futuros. Las universidades chinas, al ser instituciones públicas en su totalidad, se vieron beneficiadas con esa transferencia, y varias de ellas han pasado a constituirse durante la última década como centros de investigación tecnológica del más alto nivel.

Un proceso más sencillo de apropiación tecnológica consiste en aprovechar la tecnología ya probada y desarrollada, como componente en la realización de nuevos productos diseñados a satisfacer las necesidades particulares del país o de la región involucrados. Ello evita tener que realizar acciones ilícitas al tiempo que permite incrementar la actividad económica interna. Por supuesto, a largo plazo no hay un

sustituto para la investigación básica, pero realizar la apropiación tecnológica en niveles TRL-5 a 9 sí permite comenzar a generar procesos que posteriormente facilitarán el aprovechamiento de la tecnología básica, sin esperar entre tanto como una sociedad consumidora pasiva.

4.3 Paradigmas tecnológicos

El desarrollo tecnológico que se ha venido dando gracias a la electrónica, desde la década de los años setenta del siglo pasado, ha permitido el estudio de los procesos de innovación y fabricación industrial relacionados. Ello ha permitido la generación de diversas leyes²⁵ que se aplican al desarrollo de nuevos productos gracias a períodos de crecimiento sostenido en investigación y en los procesos económicos. Además de dichas leyes, se han formulado diferentes paradigmas que guían los procesos de investigación más desarrollo y que se traducen en motores del crecimiento económico.

Dichos paradigmas han venido formulándose ya desde los años setenta, precisamente, y han ido adecuándose o se han visto sustituidos por otros nuevos, según lo han requerido los ritmos de avance en las diferentes disciplinas involucradas. Se entienden los paradigmas según la descripción del cambio tecnológico que propuso Thomas Kuhn (1970) entendiéndolo como una serie de procesos de naturaleza cíclica que están vinculados a la trayectoria de los procesos de innovación en períodos de incremento del progreso. En ese contexto, los paradigmas refieren una serie de objetos de estudio que encuentran relación con el tipo de preguntas que deben formularse y objetivos que deben alcanzarse respecto de ese objeto de estudio.

²⁵ Leyes entendidas como enunciados que describen relaciones de causa y efecto en el contexto científico, no legal.

La primera vez que se habló propiamente de paradigmas tecnológicos fue en el año de 1981, cuando Granberg y Stankiewicz propusieron una definición que retomó la de Kuhn para aplicarla como base del análisis de tecnologías genéricas. Dicha definición propone que un Paradigma Tecnológico es un modelo que permite comprender el cambio tecnológico a partir del sistema cognitivo de una tecnología determinada, entendida ésta en los términos de su función específica (Granberg y Stankiewicz, 1981).

En otras palabras, los paradigmas en el plano de las tecnologías genéricas consisten en una formulación que establece por una parte los problemas aceptados, y por otra, las soluciones esperadas (Peine, 2006).

Posterior a los estudios de Kuhn sobre el cambio tecnológico, pero compartiendo la taxonomía de procesos, Giovanni Dosi (1994) plantea que existe en la trayectoria del desarrollo tecnológico una relación muy estrecha con los procesos económicos, relación en la que se define el cambio tecnológico real. De esa manera, Dosi afirma que el cambio tecnológico representa una explicación del crecimiento económico, y que es posible explicar el cambio tecnológico a partir de considerar los paradigmas tecnológicos y las trayectorias de la tecnología en un período dado, en su relación con el crecimiento económico (Dosi, 1982).

Lo anterior, al aplicarse a los procesos de investigación más desarrollo en la industria, genera las suficientes coincidencias para producir una estabilidad en un ramo determinado, que facilite el aprovechamiento de la investigación mediante comercio, intercambio, licenciamiento o alianzas, logrando una estabilidad tanto en el desarrollo como en la producción que permite trabajar hacia el siguiente objetivo mientras se explota el resultado del anterior.

Esta estructuración de la investigación y el desarrollo tiene la consecuencia de reducir los costos en el mercado respecto del primer objetivo logrado, haciendo posible una explotación más amplia, pues al conocer el ritmo y la dirección del avance, se hace posible planear la producción sobre la base de un crecimiento en la penetración de mercado a partir de la reducción de costos.

De esta manera, muchas innovaciones pueden encontrar viabilidad al desarrollarse investigaciones y productos desarrollados a partir de criterios generales establecidos sobre los paradigmas que se consideran vigentes.

Esta investigación pretende encontrar viabilidad al aprovechar esos criterios en la rama tecnológica, encontrando un contexto favorable para la generación de alternativas de solución. Dado que al describir el problema se han ubicado diversos puntos a resolver que se relacionan directamente con algunos de los paradigmas vigentes para el desarrollo tecnológico, se pretende hacer uso de dispositivos generados en ese contexto para acceder a los beneficios que representan un bajo costo de producción y un uso generalizado de las tecnologías implicadas.

Los paradigmas implicados son, fundamentalmente, los de interconectividad, interoperabilidad y convergencia, mismos que se describirán a continuación.

4.3.1 Paradigma de Interconectividad

El paradigma científico de interconectividad se refiere a la dependencia que existe en un sistema entre todas las partes que lo conforman. Desde esa perspectiva, el funcionamiento del sistema completo depende a su vez del funcionamiento de cada parte con igual importancia, sin importar su tamaño, costo o posición estratégica. Un sistema no es capaz de funcionar adecuadamente si la parte más pequeña está ausente o funciona mal; al mismo tiempo, una sola de las partes del sistema es inútil

sin las demás, no obstante se trate de la más sofisticada, importante o costosa. Al aplicar este paradigma en el contexto de las tecnologías, se obtiene precisamente una visión sistémica de la interrelación de dispositivos. Deja de verse cada dispositivo o aparato como un sistema independiente y cerrado, para convertirse en una de las partes de un sistema conformado conjuntamente con otros aparatos en el mismo espacio. Así, una oficina sería el sistema completo, abarcando a su vez diversos subsistemas según los aparatos que interactúen en ese espacio. Una serie de computadoras, impresoras, dispositivos móviles, equipos de control, de presencia, de iluminación serían los subsistemas que, aunque autónomos, serían capaces de comunicarse entre sí para controlar los procesos que se requieren en la oficina.

Los beneficios que ello implica involucran la estandarización de protocolos de comunicación y de tecnologías de control de procesos. Dicha estandarización facilita la generación de nuevos dispositivos abiertos a la comunicación que agreguen funcionalidades a los sistemas presentes, volviéndolos escalables y haciendo posible que el control de procesos se vea mejorado constantemente.

Desde la perspectiva de mercado ello implica la independencia de marcas específicas y la posibilidad de fabricación genérica de dispositivos con la consecuente reducción en los costos de fabricación y venta, que a su vez incentiva la innovación.

Una investigación que se beneficie de dicha perspectiva, podrá generar con mayor facilidad una propuesta innovadora comparada con la que podría aportar una investigación que se vea obligada al pago de derechos de licenciamiento de una tecnología única, o que en su caso, se vea en la necesidad de desarrollar una tecnología paralela a otra existente por no poder cubrir los costos de licenciamiento.

4.3.2 Paradigma de Interoperabilidad

El paradigma científico de interoperabilidad se refiere a la capacidad que tienen dos sistemas de trabajar conjuntamente. A diferencia del paradigma anterior, lo que interesa no es la comunicación, sino que los contenidos comunicados permitan una respuesta específica. Se trata de que el sistema receptor pueda iniciar la ejecución de una serie de tareas a solicitud del sistema emisor, o en respuesta a lo emitido.

Como ejemplo puede mencionarse un dispositivo de control de temperatura en un edificio. El paradigma de interconectividad haría posible que se comunicara con las sondas de medición en diferentes puntos del edificio, pero esa comunicación, debería traducirse en una respuesta hacia el dispositivo de control, y en casos específicos tal vez en una comunicación con dispositivos de control de iluminación o de acondicionamiento. El paradigma de interoperabilidad permite que esa respuesta se dé apropiadamente al proponer lenguajes, códigos y protocolos de control y respuesta.

La aplicación en las industrias electrónica e informática de este paradigma ha permitido producir dispositivos que permiten la ejecución de comandos mediante lenguajes y actuadores estandarizados, lo que facilita el uso de tecnología para generar nuevos sistemas con características específicas con costos de desarrollo reducidos.

La aplicación de este paradigma en el presente trabajo permitirá obtener como resultado la ejecución de los cortes y reconexiones de corriente eléctrica necesarios para la segmentación de sub-circuitos, así como la activación y desactivación de módulos y acumuladores.

4.3.3 Paradigma de Convergencia

El paradigma de convergencia consiste en la tendencia presente en los sistemas tecnológicos, de presentar una evolución que permite realizar tareas similares,

paralelas o comunes. Esa tendencia facilita la aplicación del paradigma de interoperabilidad, al tiempo que permite la simplificación de un sistema al reducir la cantidad de tareas y componentes dedicados. La convergencia permite a los subsistemas operar bajo esquemas comunes que potencian las capacidades del sistema completo, tal como se propone en el modelo de escalamiento sinérgico.²⁶

Un ejemplo de aplicación en el plano tecnológico del paradigma de convergencia es el siguiente: si dos sub-sistemas deben realizar dos acciones del mismo tipo y se han desarrollado tecnologías diferentes para realizarlas, este paradigma prevé la posibilidad de sintetizar las dos tecnologías en una sola que permita las dos acciones.

Otro ejemplo de aplicación puede plantearse como el caso de dos sistemas que realizan acciones complementarias con tecnologías diferentes, al aplicar el paradigma se desprende que deberá ser posible generar un sistema único que incorpore una sola tecnología convergente, desarrollada a partir de la síntesis y/o sinergia de las dos anteriores.

La aplicación de este paradigma en la industria electrónica permite la síntesis de tecnologías diseñadas para funciones específicas en una sola plataforma común. Es decir, se pueden usar varias tecnologías en un mismo dispositivo para fines específicos independientes o compartidos. Ejemplos de ello se tienen en la evolución de los dispositivos portátiles, cuando originalmente se tenían por separado cámaras fotográficas, teléfonos móviles, agendas y reproductores de audio. Actualmente existen dispositivos que sintetizan varias tecnologías, cuando no todas, en un solo aparato. Ello, no obstante, no ha significado necesariamente la desaparición de las tecnologías previas, sino su mejoramiento e integración.

²⁶ De acuerdo con Buckminster Fuller, quien acuñó el término *sinergia* en oposición a *entropía*, el escalamiento sinérgico consiste en el mejoramiento de resultados que presenta un sistema, comparado con la suma resultante de la operación aislada de sus componentes (Fuller, 1979).

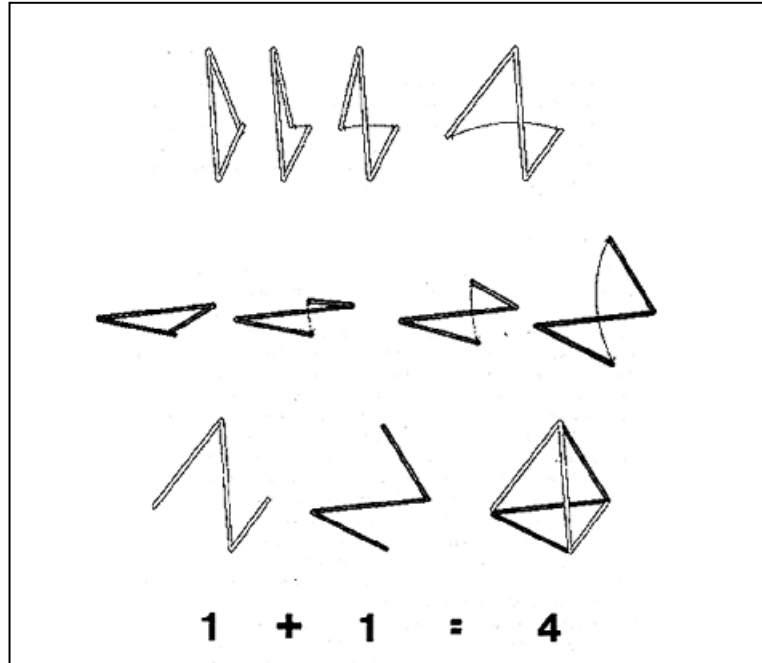


Figura 19. Esquema explicativo de la aplicación de la sinergia: dos triángulos pueden modificarse para generar un tetraedro, que se compone de cuatro triángulos. De ahí la expresión $1+1=4$ (Fuller Estate, 1997).

Se prevé que la aplicación del paradigma de convergencia a esta investigación permita diseñar controladores de circuitos eléctricos con tecnologías que aseguren el resultado deseado de segmentar y desconectar ramas de los circuitos según las necesidades de uso.

4.3.4 Paradigma de Usabilidad

Consiste en la facilidad y eficiencia con la que un ser humano puede usar una herramienta determinada para conseguir un objetivo previamente fijado. A partir de esa definición, se utiliza en el desarrollo de herramientas en las diferentes industrias relacionadas. Se dice que un dispositivo es más usable, si requiere de un menor tiempo o esfuerzo de aprendizaje para su operación.

Esta investigación se beneficiará de la aplicación de este paradigma al campo específico de las relaciones Humano-Máquina, ya que implica la operación de los módulos de control eléctrico por usuarios no calificados.

En esa aplicación, el paradigma se refiere a la facilidad con que un dispositivo puede ser operado por una persona, gracias a sus características tanto sintácticas como semánticas, y también a la reducción de tiempo y esfuerzo dedicados a familiarizarse con el sistema, a la realización de pruebas y a la configuración de los módulos que lo integran para su uso práctico.

La aplicación de este paradigma permitirá definir los requisitos de diseño hacia el usuario que se traducirán en las interfaces operativa, gráfica y estética.

Los principios de usabilidad permitirán diseñar interfaces cuyo objetivo principal sea lograr que la operación del sistema pueda darse de manera intuitiva y eficiente, sin pre-requisitos teóricos.

4.4 Tecnologías de comunicaciones

Existen actualmente diversas tecnologías que se han desarrollado específicamente para el control domótico.²⁷ Pueden dividirse por su vía de transmisión en tecnologías de línea de poder (*PowerLine* o PL); tecnologías por cable (fibra óptica, coaxial y par trenzado); tecnologías de radiofrecuencia y por rayos infrarrojos (RF e IR); tecnologías de radiofrecuencia digital inalámbrica (*Wireless*) y tecnologías mixtas, que utilizan diferentes vías de manera simultánea (SmartLabs, 2006).

Casi todas ellas han sido producto de desarrollo privado por parte de empresas dedicadas a procesos de Investigación + Desarrollo. Algunas son de uso privativo y requieren por ello de la gestión de un licenciamiento específico para poder utilizarlas, tal es el caso de Insteon y LonWorks, tecnologías mixtas que ha sido desarrolladas por SmartLabs y por Echelon Corporation, de Irvine y San José, respectivamente, ambas en California. Otras instancias, como KNX, que es una organización sin fines de lucro que promueve la automatización bajo estándares abiertos, han propuesto una serie de parámetros de control que constituyen un estándar en la industria del equipamiento de viviendas, dando origen a las normas ISO/IEC-14543 (aunque también se les conoce como estándar o tecnología KNX).

Otra tecnología disponible es X-10, desarrollada por la firma Pico Electronics como un estándar abierto para las comunicaciones entre dispositivos vía línea de poder (1975), es una tecnología de libre uso, circunstancia aprovechada por diferentes fabricantes para ofrecer productos que la utilizan, permitiendo así el descenso de los precios, aunque presenta algunos problemas de interferencia.

²⁷ Domótica es la incorporación de tecnologías al equipamiento de edificios, particularmente de viviendas, que permiten la gestión de los diferentes sistemas, aparatos e instalaciones presentes, de forma energéticamente eficiente, y segura para el usuario (Romero, Vázquez y Castro, 2005). Otra definición es la que propone la Asociación de Inmótica y Domótica Avanzada (AIDA), y que consiste en la integración de tecnologías que permitan la gestión energéticamente eficiente, remota, confortable y segura para el usuario, de los servicios e instalaciones residenciales (en Romero, Vázquez y Castro, 2005).

BACnet es una propuesta que tuvo su origen en la necesidad de controlar los sistemas de aire acondicionado (AC) en edificaciones. Con el tiempo, se convirtió en un protocolo estandarizado para las comunicaciones entre sistemas y dispositivos, siendo actualmente reconocido por ISO, ASHRAE²⁸ y ANSI,²⁹ aunque su principal uso se da en sistemas inmóticos³⁰ más que domóticos.

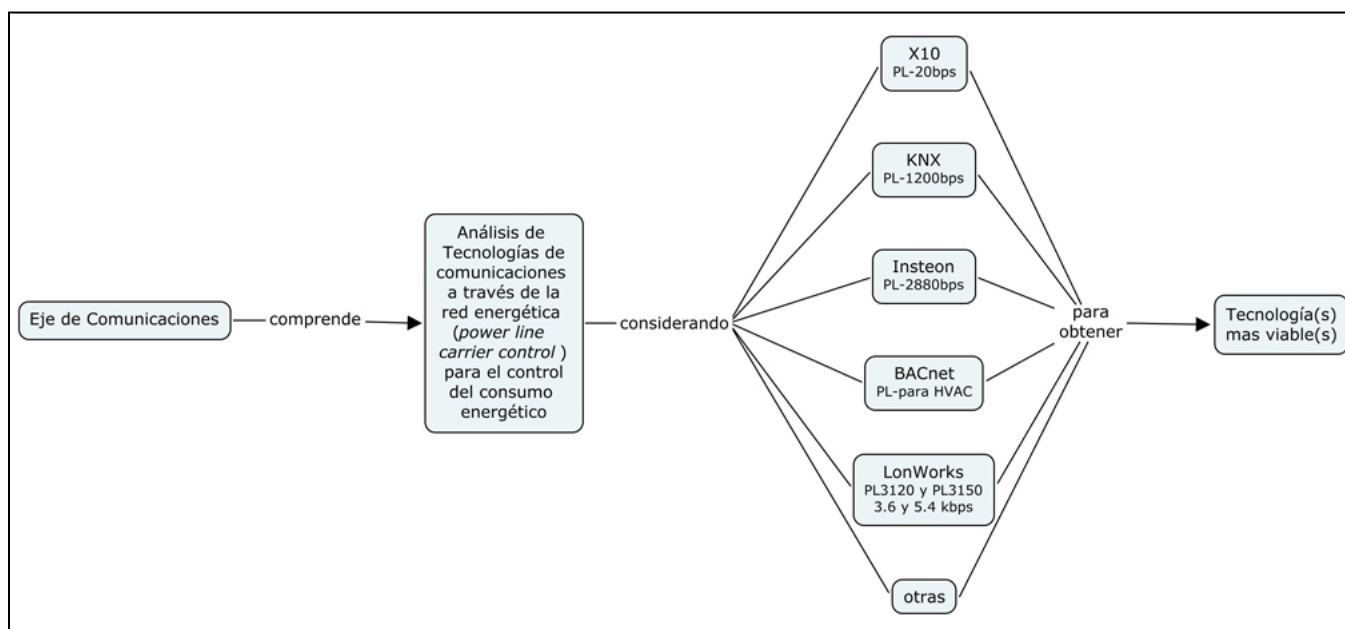


Figura 20. Eje de comunicaciones.

Existen, por supuesto, otras tecnologías relacionadas con la automatización y control de sistemas para el sector habitacional, sin embargo, se han mencionado hasta aquí las que se consideran más relevantes para los efectos de esta investigación. Las etapas de pruebas permitirán comprobar o refutar dicha afirmación.

En la Tabla 1 puede apreciarse la diversidad de tecnologías que existe actualmente, así como sus desarrolladores y principios de comunicación.

²⁸ American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, por sus siglas en ingles.

²⁹ American National Standards Institute, por sus siglas en inglés.

³⁰ Inmótica es la incorporación de sistemas de gestión técnica automatizada de instalaciones en edificios singulares comprendidos en el mercado terciario (servicios) e industrial (CEDOM, 2005).

4.5 Tecnologías de control

Para el control de los dispositivos, una vez lograda la comunicación, debe utilizarse un lenguaje informático. Dichos lenguajes existen en diversos niveles, según las características de la operación requerida. El lenguaje de máquina es el que permite la comunicación operativa más básica entre dispositivos tecnológicos, consistiendo generalmente de operaciones a nivel arreglos de bit,³¹ pero al mismo tiempo es el más alejado del usuario, dado que se ejecuta solamente por la unidad central de proceso de un sistema o de una computadora.

El lenguaje ensamblador es el que permite la traducción del lenguaje de máquina a términos comprensibles para un humano, pero aún en una sintaxis lógica completamente a nivel de máquina, y por tanto no pensada para su fácil uso, aunque sí para su manipulación por el programador.

Tecnología	Medio de transmisión	Velocidad	Distancia máxima
Ethernet	Unshielded twisted pair	10 Mbit/s – 1 Gbit/s	100 m
	Optical fiber	1 Gbit/s – 10 Gbit/s	2 km – 15 km
HomePlug	Electrical wiring	14 Mbit/s - 200 Mbit/s	200 m
Universal Powerline Association	Electrical wiring	200 Mbit/s	200 m
ITU-T G.hn	Electrical wiring/Telephone line/coaxial cable	up to 1 Gbit/s	N/A
HomePNA	Telephone line	10 Mbit/s	300 m
Wi-Fi / IEEE 802.11	Radio frequency	11 Mbit/s – 248 Mbit/s	30 m – 100 m
FireWire / IEEE 1394	Unshielded twisted pair / Optical fiber	400 Mbit/s – 3.2 Gbit/s	4.5 m – 70 m
Bluetooth	Radio frequency	1 Mbit/s – 10 Mbit/s	10 m – 100 m
IRDA	Infrared	9600 bit/s – 4 Mbit/s	2 m
C-Bus / C-Bus (protocol)	Twisted pair / Electrical wiring / Radio frequency / Infrared / Ethernet / Wi-Fi	1200 bit/s – 9600 bit/s	1000 m
LonWorks	Twisted pair / Electrical wiring / Radio frequency / Coaxial	1.70 kbit/s – 1.28 Mbit/s	1500 m – 2700 m
INSTEON	Electrical wiring + Wireless	1.2 kbit/s	1,000 m+ (Electrical wiring), 50 m+ (Wireless)
X10	Electrical wiring	50 bit/s – 60 bit/s	
European Installation Bus / KNX	Twisted pair / Electrical wiring / Radio frequency / Infrared / Ethernet	1200 bit/s – 9600 bit/s	300 m – 1000 m
EHS	Twisted pair / Electrical wiring	2.4 kbit/s – 48 kbit/s	
Batibus	Twisted pair	4800 bit/s	200 m – 1500 m
Zigbee	Radio frequency	20 kbit/s – 250 kbit/s	10 m – 75 m
Z-Wave	Radio frequency	9.6 kbit/s – 40 kbit/s	1 m – 75 m
USB	Twisted pair	12 Mbit/s – 480 Mbit/s	5 m

Tabla 2. Estándares de comunicaciones en el ámbito domótico (Wikipedia, 2009).

³¹ Un bit es el nivel mínimo de información y toma de decisiones en las tecnologías digitales, correspondiendo en lenguaje binario a una alternativa SÍ (1) o NO (0).

El lenguaje de compilación es el que requiere el uso de un programa traductor (compilador) para transformar la secuencia lógica programada, en un código ejecutable autónomo. En este nivel se inscriben la mayor parte de los lenguajes de desarrollo de aplicaciones informáticas.

Los lenguajes de interpretación son los que en lugar de requerir un compilador que los transforma, requieren de un intérprete que los ejecute. De esta forma la secuencia lógica puede arrojar las consecuencias programadas, al complementarse con un programa que lleva a cabo las acciones previstas.

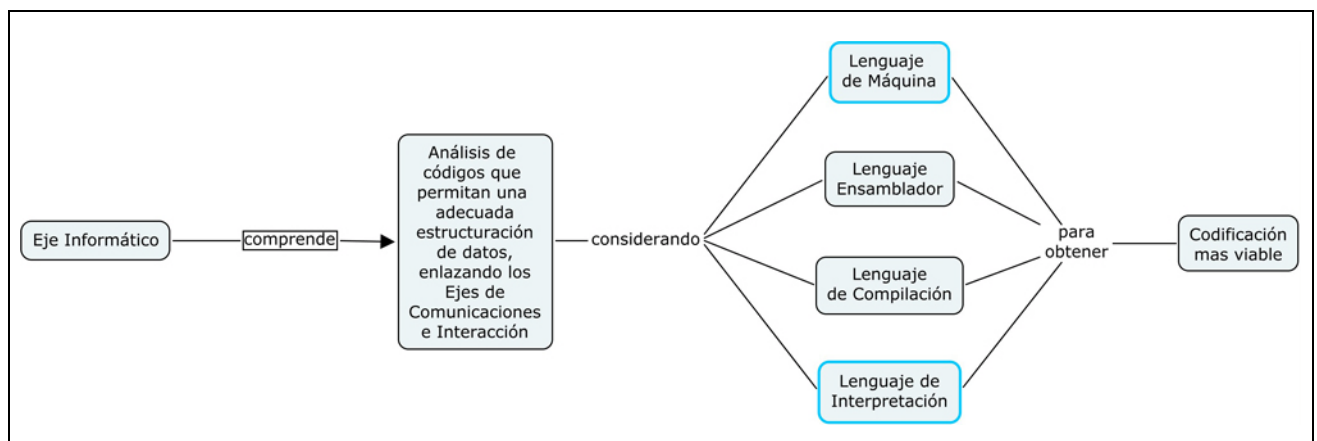


Figura 21. Eje informático de esta investigación.

4.6 Tecnologías de interacción hombre-máquina

Finalmente, existe la necesidad de considerar las tecnologías que permitirán al usuario interactuar con el sistema que se propone. Dichas tecnologías deben estar disponibles actualmente, y deben además, de acuerdo con el paradigma de usabilidad, requerir el mínimo de esfuerzo para obtener el máximo de eficiencia.

La solución natural debería consistir entonces de tecnologías ya conocidas por el usuario, a las que simplemente debería añadirse una nueva funcionalidad, es por ello que se han preseleccionado las tecnologías que actualmente ya incorporan los dispositivos electrónicos a disposición del consumidor en general.

Dichas tecnologías son Bluetooth, para la interconexión de aparatos; WiFi y WiMax, usadas para las redes informáticas; RF, usada por diferentes aparatos de comunicación entre personas y entre dispositivos electrónicos; IR, utilizada por los controles remotos para comunicación remota inalámbrica entre un mando a distancia y un aparato; DECT, utilizada para comunicación telefónica inalámbrica; y las tecnologías manual-mecánicas utilizadas para operar directamente cualquier dispositivo eléctrico.

Todas estas tecnologías, son actualmente manejadas en mayor o menor medida por los usuarios de los niveles socioeconómicos previstos (B, C+, C y D+), aún cuando no se operen en la conciencia de las tecnologías y procesos implicados.

La definición de tecnologías informáticas condicionará la selección en este eje, dado que se requiere el cumplimiento de ciertos requisitos lógicos y técnicos para poder utilizar estas tecnologías.

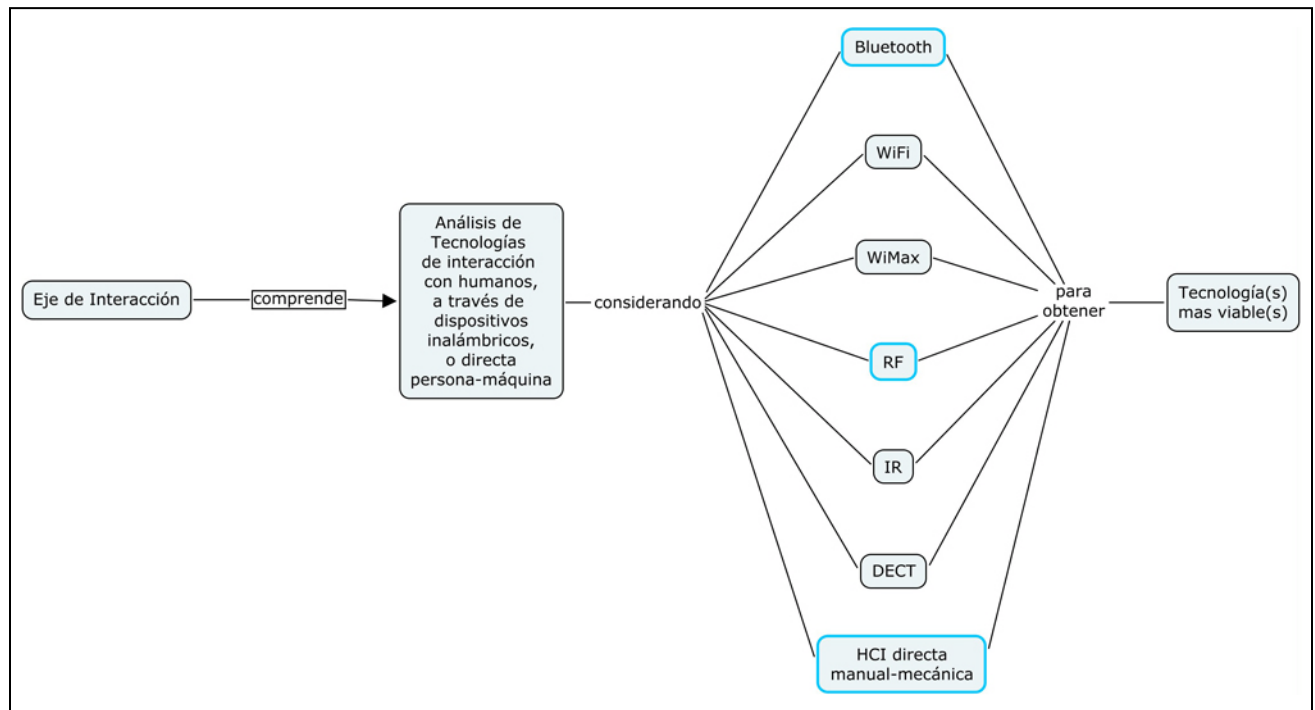


Figura 22. Eje de interacción de esta investigación.

Definidos estos ejes tecnológicos, se usarán como guía para la selección de tecnologías específicas a emplear en el sistema, facilitando el desarrollo de los dispositivos previstos al conocer las posibilidades técnicas disponibles.

CAPÍTULO 5

FUNDAMENTOS DE DISEÑO

Esta investigación busca generar un sistema que permita el ahorro de energía eléctrica en una vivienda. Dicho sistema debe estar formado por distintos componentes para cuya obtención se requerirá de un proceso de diseño que considere los requisitos que cada aspecto del contexto impone, permitiendo lograr la mejor solución posible en cada caso. Conviene por lo tanto, definir de qué manera el Diseño permitirá que ello se lleve a cabo, y cuáles son las bases sobre las que podrá trabajarse para lograr los resultados que se buscan.

En este capítulo se definirá brevemente la manera en que se consideran el acto y proceso de diseñar, para luego enunciar las diferentes funciones que el objeto resultante ha de considerar como satisfactor de necesidades.

Y ya que se ha mencionado que se busca obtener una serie de componentes o dispositivos, integrantes de un sistema que deberá ser operado por personas, se describirá también de qué manera se entiende la relación entre el hombre y los dispositivos, que se nombrarán genéricamente como “máquina”.

5.1 Diseño y objeto diseñado

El diseño es una actividad humana que se caracteriza por su naturaleza poiética (GARCÍA OLVERA, 1996), es decir, que tiene por resultado algo externo a la especie de su hacedor. De otro modo, su naturaleza correspondería a la *πραξις* (praxis), que refiere al trato entre los hombres y no a la *ποιησις* (poiesis), que es la transformación de lo diferente.³² Se trata entonces de una actividad que tiene por objeto la transformación del mundo, de aquello que rodea al hombre.

³² García Olvera cita a Adolfo Sánchez Vázquez (1973), quien al hablar de las acciones productivas refiere a Aristóteles cuando afirma que la actividad que produce algo exterior al sujeto y a sus actos se debe denominar *poiesis*, que literalmente es el acto de producir o fabricar algo. Al contrario, aquellas acciones que refieren exclusivamente al trato con los hombres, son designadas como *praxis*.

Ahora bien, esa transformación del contexto normalmente tiene una relación muy estrecha con las propias necesidades del hombre. Se trata en realidad de una respuesta a su situación en un contexto determinado, y precisamente por ello se ha considerado pertinente aclarar aquí los elementos que componen a esa respuesta, pues esta investigación propone generar un sistema que precisamente permita un beneficio derivado de una mejor relación entre el hombre y su entorno.

Dado que el hombre conoce al mundo a través de los sentidos, en consecuencia el resultado de su acción transformadora tiene por necesidad que ser percibida también de manera sensible y más aún es expresada en un lenguaje que comúnmente llega a lo simbólico.

La cualidad sensible de lo diseñado abre entonces la posibilidad a la significación, esto es, aquello que ha sido transformado puede ser convertido en signo, pues si en el momento de su generación tuvo como razón una necesidad, en momentos posteriores lo diseñado puede percibirse como el satisfactor que la elimina o palia.

A partir de ese proceso lo diseñado puede entenderse ya como un objeto, es decir, como aquel ente externo a su creador que posee una forma sensible. Ese objeto, en su creación ha de considerar por tanto, no solamente las cualidades que permitirán satisfacer una necesidad, sino aquéllas que harán posible que se perciba su relación con esa necesidad, e inclusive las que aclaren la manera de hacerla efectiva.

Dichos conjuntos de cualidades son consecuencia de la estructura del objeto, esa estructura determina la ejecución de aquello para lo que se hace el objeto, es decir su función (GARCÍA OLVERA, 1996). Las funciones del objeto establecen el modo de satisfacer los distintos aspectos de la necesidad que origina al objeto diseñado.

En general las funciones del objeto diseñado se han dividido en dos grandes grupos, las funciones prácticas y las del lenguaje del producto (SLOTTERDIJK, 1983), a partir del entendimiento de la relación entre el objeto y el usuario en el marco de las teorías de comunicación. Sin embargo, esa visión no considera las funciones que relacionan al objeto con el contexto económico más allá de una serie de características subordinadas a las funciones prácticas principales. Dado que los objetivos planteados en este trabajo ponen énfasis en lograr un equilibrio de todas las funciones, se empleará una clasificación diferente de las funciones del objeto diseñado, que permite precisamente una visión más integral, no anclada exclusivamente en el contexto de una relación de comunicación entre el objeto y el usuario.³³

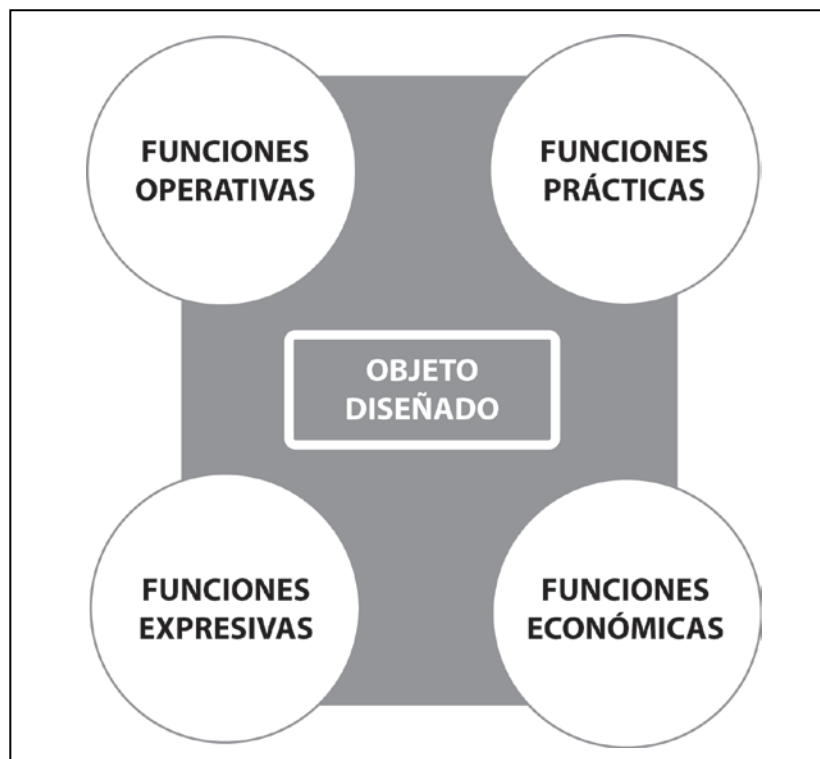


Figura 23. Funciones del objeto diseñado (Aguirre, 2004).

³³ De acuerdo con la clasificación propuesta por Aguirre (2004).

5.1.1 Funciones operativas

Las funciones operativas son las que establecen el principio de operación que permitirá que se cumpla el objetivo para el cual se crea el objeto. Involucran una serie de principios técnicos de cuya ejecución dependerá que se realice la acción transformadora que se busca obtener al usar el propio objeto diseñado.

Podría pensarse que son las únicas características que realmente importan para diseñar un objeto, sin embargo y aunque son muy importantes, se ha observado en numerosas ocasiones que un objeto diseñado explícitamente para cubrir las funciones operativas sin considerar los otros tipos de funciones, no cubrirá cabalmente las expectativas en el contexto socioeconómico, ni brindará al usuario las sensaciones de confort ni de control que se esperan de él.

Para efectos prácticos, en este trabajo se considerará posible determinar las funciones operativas, si previamente se realizan dos actividades, a saber: la detección de necesidades y la determinación del principio de operación. A continuación se definirán ambas acciones, sin las cuales no podría existir un proceso de diseño.

5.1.1.1. Detección de necesidades

Desde el momento en que se habla de la generación de un objeto para modificar el entorno, debe entenderse que queda clara la intención y el efecto que se pretende logre dicha modificación. Al hablar ya de un objeto diseñado se implica entonces una serie de actividades que requieren necesariamente de la voluntad de realizar un cambio en las circunstancias presentes en el medio de que se trate.

Como se mencionó anteriormente, ese deseo de cambio es generado normalmente por una necesidad o por un problema que se presentan en un momento y contexto determinados. No puede entonces buscarse un cambio si previamente no se ha establecido qué quiere cambiarse.

El proceso de observación perceptual lleva a un proceso racional mediante el cual se decide aquello digno de ser cambiado. Ese conjunto de actividades es lo que se define aquí como detección de necesidades y constituye la fase primaria del proceso de diseño.

Lo anterior no excluye, sin embargo, la posibilidad de conseguir un cambio en el medio sin que previamente haya existido una observación y una conclusión racional, pero en ese caso no puede, desde luego, hablarse de un proceso de diseño. Se trataría más bien de un ejercicio no deliberado en cuanto a sus fines y con resultados no siempre planeados ni previsibles.

Por lo tanto, cuando se hable de intentar satisfacer necesidades o de resolver o paliar problemas, puede establecerse como necesario el haberlos observado y analizado racionalmente al grado de poder previsualizar qué tipo de acción permitirá su cambio.

Una vez decidida esa acción o serie de acciones puede darse el siguiente paso, que consiste en decidir cómo pueden o deben ser realizadas esas acciones, lo que lleva ya a hablar de la segunda actividad necesaria para definir las funciones operativas: el principio de operación.

5.1.1.2. Principio de operación

La mera enunciación del problema detectado arroja ya una serie de datos que sirven como punto de partida para decidir cómo deberá realizarse el cambio que lo modifique. Frecuentemente existen, sin embargo, múltiples vías para intentar un cambio, por lo que resulta necesario tomar una decisión frente a esas posibilidades.

Elegir una de las vías posibles para el cambio conduce precisamente a la determinación del principio de operación. Llevar a cabo esa elección es lo que permite ya establecer las funciones operativas del objeto diseñado. Conviene recordar que sin función operativa no existe objeto diseñado, pues aunque existiese un objeto que tuviera funciones económicas o expresivas, al carecer de intención de modificar el medio saldría ya de los límites del diseño.

Puede buscarse entonces el principio de operación en todo objeto que se haya diseñado, y efectivamente es posible encontrarlo y definirlo en objetos tan sencillos como las máquinas simples, y en objetos tan complejos como un colisionador de partículas. En ambos casos se decide una cierta manera de lograr un objetivo preestablecido, aún cuando la máquina simple posiblemente posea una sola característica y el colisionador de partículas requiera de millones de decisiones. Hay pocos casos en los que exista una única forma de realizar un cambio, y aún en esos casos, el decidir usarla en un objeto construido para tal fin es determinar su principio de operación.

Establecido el carácter necesario para el objeto diseñado de las funciones operativas, y la forma en que se definen, se hablará de las funciones del objeto que dependen del contexto en que se genera.

5.1.2 Funciones prácticas

Las funciones prácticas se relacionan directamente con las características del usuario a quien está dirigido el objeto que se diseña; con las condiciones del contexto o medio ambiente en que se encuentra el usuario y por lo tanto en que se usará el objeto; y con las características que se señalen como requisito para que pueda conformarse un sistema de objetos.

Precisamente debido a que las funciones prácticas involucran la relación usuario-objeto, la usabilidad forma parte de ellas jugando un importante papel para facilitar al usuario el entendimiento de las partes operables. Se hará énfasis en esa relación usuario objeto (hombre-máquina) dado que la propuesta de diseño que se hace en este trabajo implica como parte de sus objetivos el tener una adecuada relación con sus usuarios.

5.1.2.1 Interacción hombre-máquina

La relación que se da entre el hombre y una máquina permite varios niveles de comunicación. La forma más sencilla corresponde a una relación causa-efecto: el usuario identifica cierta posibilidad de cambio en una situación mediante la máquina, y decide ejecutar una acción a través de ella para lograr el cambio deseado. A partir de ese nivel se han producido formas más complejas de relación humano-máquina que llegan hasta la interacción por múltiples canales de comunicación del tipo emisión-recepción-respuesta donde ya no está necesariamente programada la respuesta de la máquina sino que puede involucrar inclusive inteligencia artificial.

Cabe aquí la distinción entre la interacción con *hardware*, interacción con *software* e interacción mixta. La interacción con *hardware* se refiere a la relación física entre el usuario y la máquina o dispositivo y ha sido objeto de estudio del Diseño Industrial en campos como el factor humano y la ergonomía. La interacción con *software* está basada en una relación lógica-perceptual con el usuario, a través de los dispositivos

electrónicos que por lo general hacen uso principal aunque no único de monitores y pantallas, lo que convierte a la visión en el canal principal de comunicación; normalmente este tipo de interacción ha sido objeto de estudio de las ciencias relacionadas con computación e Informática y del Diseño Gráfico, y más recientemente del Diseño Multimedia e Interactivo.

La interacción mixta normalmente hace referencia al desarrollo de propuestas que involucran tanto *hardware* como *software* y que generalmente implican un trabajo multi o trans-disciplinario.

Actualmente existe, una vez aclarado y como consecuencia de lo anterior, un abanico bastante grande de posibilidades para el diseño de la relación hombre-máquina. Uno de los elementos esenciales en ese diseño es el de la interfaz, definida para los términos de este trabajo como el conjunto de rasgos físicos y perceptuales que se presentan al usuario y cuya función es la de facilitar el uso de la máquina y emitir respuestas claras que le permitan determinar su estado y condición en un momento determinado.

a. Diseño de interfaces

Definida la interfaz, conviene hablar del proceso mediante el cual éstas se generan dependiendo de su tipo y uso. Aparentemente la definición de características de usuario y máquina debería permitir tener una idea clara de los requisitos a cubrir por la interfaz. Sin embargo, el conocer dichos requisitos no implica la obtención automática de la interfaz debido a que cada requisito puede ser respondido por innumerables soluciones, y debe hacerse una selección que permita integrar la solución a todos los requisitos en un solo producto que facilite que la máquina cumpla su función eficientemente con un esfuerzo mínimo del usuario, y que responda además a factores externos a la máquina y que estén determinados por elementos contextuales.

Normalmente los elementos contextuales refieren a determinada cultura, momento histórico, paradigma cognitivo, criterios mercadológicos e incluso tendencias estilísticas. Todo ello ejerce una cierta influencia en la manera en la que el usuario interpretará los elementos formales y compositivos de la máquina y de su interfaz y deben por tanto ser considerados conjuntamente con los requisitos técnicos al momento de proponer la interfaz.

Para que ese conjunto de rasgos que conforman la interfaz funcione, ocurren diferentes acciones, se distinguen tres procesos fundamentales: el procesamiento humano, el procesamiento de la máquina y la expresión del procesamiento de la máquina que se enuncia como resultado del procesamiento de la misma.

Ahora bien, el orden de esos procesos puede variar, pues en ocasiones el primer paso será por parte de la máquina al enunciar un estado (por ejemplo, encendido o apagado), que al ser interpretado por el usuario le sugerirá una acción (encender, apagar, operar). En otro caso puede ser el propio usuario el que realice una acción en primer término, mover un control o manipular la máquina para obtener una respuesta y así descifrar el propósito o el funcionamiento de la misma.

Se describirán ahora los tres diferentes procesos para el funcionamiento de la relación hombre-máquina. El primero de ellos, el procesamiento humano,³⁴ implica el trabajo conjunto de tres subsistemas en el usuario dado que se involucran tanto los sentidos como funciones cerebrales y mecanismos motores.

Los tres subsistemas son, en primer término el perceptual, pues se debe contar con una descripción de la máquina para conocerla o identificarla. En segundo término opera el subsistema cognitivo, pues el descifrarla cuando se percibe por primera vez e identificarla cuando ya se ha conocido implican la activación de regiones cerebrales

³⁴ Se describe el procesamiento humano a partir del Modelo de Procesador Humano (*Model of Human Processor*) propuesto por Card, Moran y Newell (en BOFF *et al.*, 1986) como una descripción general de los elementos necesarios para la acción humana (*performance*) a partir de la percepción.

que tienen por objeto generar una iniciativa de modificación del estado percibido de la máquina en relación con una necesidad o deseo. El tercero de los subsistemas es el motor, pues la acción de modificación del estado de la máquina ha de realizarse operando los propios controles de la misma, para lo que se requiere de una serie de movimientos precisos de diferentes partes anatómicas.

En cuanto al procesamiento de la máquina, segundo de los involucrados en el contexto de la interfaz, implica la actividad propia de la máquina. Dicha actividad puede implicar desde la simple modificación o desviación de una fuerza, como ocurre con las máquinas simples,³⁵ hasta la ejecución de numerosos cálculos cuyo resultado ha de expresarse en una respuesta visual, mecánica, eléctrica, etc., como ocurre con las computadoras. En cualquier caso, existirá un estado inicial que el usuario podrá modificar dando lugar a un estado final de la operación.

Ahora bien, dado que para poder pasar de un estado a otro es necesaria la recepción, aplicación o generación de una fuerza o energía,³⁶ que a su vez sea usada o transformada para obtener un resultado que se desea, parece adecuado hablar de un cierto nivel de entrada/salida de fuerza, energía, información.

Si bien el modelo *input/output* se desarrolló y generalmente se emplea en el contexto de la información, particularmente de la digital que involucran la computación y la informática, en un contexto diferente se considera apropiado para describir la operación de una máquina a partir de un impulso o fuerza inicial (entrada), y cuya modificación permite obtener una respuesta o información de salida.

³⁵ Las máquinas simples son los dispositivos cuya función es dar al usuario ventaja mecánica al aplicar una fuerza (AKSHOY RANJAN *et al.*, 2005). Son las máquinas que, como su nombre lo indica, tienen el menor nivel de complejidad técnica y operativa.

³⁶ Las dos primeras definiciones que propone la Real Academia Española de la lengua describen una máquina como un artificio que aprovecha o regula la acción de una fuerza, o como un conjunto de aparatos combinados que reciben energía y la transforman para producir un efecto determinado (RAE, 2001). En cualquier caso, se habla de que la máquina recibe una fuerza o una energía.

Finalmente, la expresión del procesamiento consiste en que una vez generada la información de salida o respuesta, la máquina debe mostrar el nuevo estado al usuario. Para hacerlo se recurre a una expresión, frecuentemente gráfica, que no es indispensable *stricto sensu* para el funcionamiento de la máquina, sino que es deseable desde el punto de vista de la relación con el usuario.

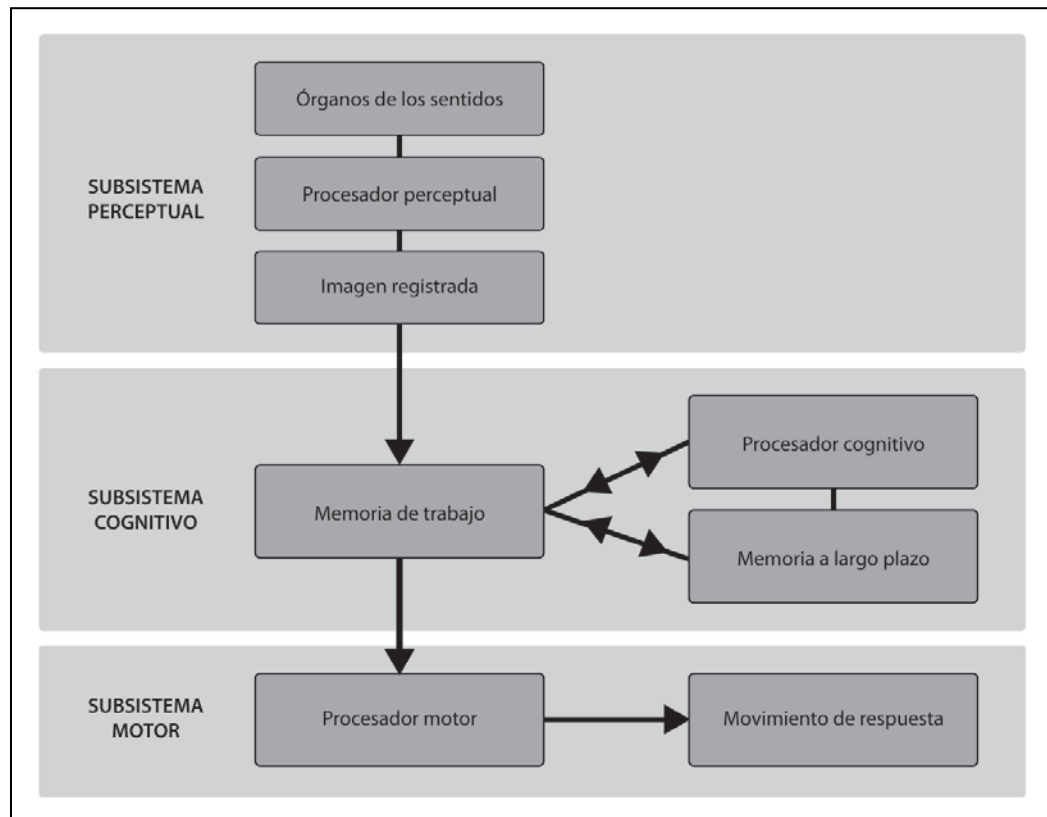


Figura 24. Esquema del Modelo de Procesador Humano de Cards, Moran y Newell (en BOFF *et al.*, 1986).

Un mejor conocimiento del estado actual de la máquina permitirá una toma de decisiones por parte del usuario que será más eficiente en la búsqueda del cumplimiento de los objetivos para los que se construyó la máquina. Ello mediante un proceso que puede ser percibido como lógico con base en un razonamiento simple del tipo causa-efecto.

La expresión de esos estados de entrada y salida es precisamente lo que realiza la interfaz, además de posibilitar el control del proceso completo mediante controles. El conjunto de dispositivos enunciativos y de dispositivos de control conforman en términos prácticos la interfaz de la máquina.

Conocido el funcionamiento de la máquina, el usuario ya no descifra sino que “lee” el estado de la máquina y en consecuencia decide y opera sus controles para modificar ese estado. Dicha lectura requiere del uso de la memoria a largo plazo, es decir de aplicar conocimiento, lo que puede verse afectado por la complejidad o simplicidad del discurso de la interfaz.

Más allá de esa lectura, las características de diseño de la máquina pueden llegar a permitir que el usuario realice una identificación sígnica a nivel de señal (LANGER, 1967), lo que quiere decir que a través de un mecanismo de analogía el usuario será capaz de reconocer inmediatamente un significado al encontrarse frente a la máquina.

b. Usabilidad

Una vez que se definió lo que es la interfaz hay que mencionar que sus elementos, tanto los enunciativos como los de control, deben encontrarse dispuestos de tal manera que faciliten al usuario su lectura y operación requiriendo el mínimo de esfuerzo. De esta forma, el esfuerzo del usuario se concentra no en descifrar el funcionamiento o el estado de la máquina, sino en obtener el resultado para el cual se construyó la máquina.

Para lograr ese esfuerzo mínimo por el usuario se cuenta con una serie de principios sintácticos y semánticos que en su conjunto se denominan principios de usabilidad. El término usabilidad refiere a la facilidad de uso de algo y fue primero aplicado en Arquitectura y en el desarrollo de procedimientos y dispositivos militares, pasando posteriormente al Diseño Industrial y más recientemente al Diseño Interactivo.

La usabilidad es actualmente parte importante de los estándares internacionales de diseño y producción, de acuerdo con el paradigma vigente de diseño centrado en el usuario (UCD según sus siglas en inglés). El diseño centrado en el usuario es en realidad una filosofía y un proceso de diseño que se caracterizan por considerar ampliamente al usuario en cada una de las fases de diseño y fabricación de productos. Se atiende al usuario en cuanto a sus necesidades, deseos y aspiraciones, y más recientemente también en cuanto a sus emociones. Considera entonces los aspectos inherentes al individuo, así como sus características contextuales como la cultura y el medio ambiente.

Los principios de usabilidad se encuentran inclusive definidos y especificados como parte de normas de estandarización.³⁷ La norma ISO-9241 define la usabilidad como “la eficiencia y satisfacción con la que un producto permite alcanzar objetivos específicos a usuarios específicos en un contexto de uso específico” (ISO, 2004). Resulta entonces importante que una interfaz sea usable, dado que de ello depende la eficiencia de operación de la máquina.

Existen principios de usabilidad propuestos por diferentes autores además de los que las normas definen y que comparten, desde luego, los mismos objetivos. De entre esos principios, se consideran importantes para esta investigación los formulados por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos de América (USDD) en el documento denominado Estándar de Criterios de Diseño para Ingeniería Humana,³⁸ dado que sus objetivos son muy cercanos a los aquí planteados hacia el usuario. Los objetivos propuestos por el USDD (1999) son los siguientes:

³⁷ Las normas ISO-16982:2002, ISO-9241 e ISO-9246 se refieren específicamente a definir usabilidad y a enlistar la serie de principios que deben ser atendidos en el diseño de productos en general, y también de productos informáticos para lograr que los usuarios obtengan resultados esperados en un contexto determinado, de manera efectiva y eficiente.

³⁸ El nombre del documento es *Department of Defense Design Criteria Standard - Human Engineering*, y fue aprobado en el año de 1999. Aún se encuentra vigente, aunque complementado por normativas específicas para ciertos campos de la ingeniería. Este documento se identifica oficialmente como MIL-STD-1472F, pero para efectos de consistencia se referirá en lo sucesivo como USDD, 1999.

- Lograr el rendimiento requerido para el operador, el control y el personal de mantenimiento.
- Minimizar las habilidades requeridas para el personal y también el tiempo de adiestramiento.
- Lograr la confiabilidad de la combinación personal - equipo.
- Propiciar la estandarización de diseño en los sistemas y entre sistemas.

Como se ve, los objetivos enunciados van encaminados a asegurar que el equipo cumpla sus funciones con el mínimo esfuerzo por parte del personal, y tratando de minimizar las diferencias entre los diferentes sistemas.

Las consecuencias de alcanzar esos objetivos implican una disminución en el tiempo y en el esfuerzo necesarios para conocer la forma de operar y mantener el equipo, lo que además de los beneficios en relación con el usuario implicará una disminución en el tiempo de producción y los costos de fabricación, como se verá cuando se hable de las funciones económicas. Otro aspecto importante es que al alcanzarse los objetivos señalados, se logrará también una reducción de riesgos y por lo tanto de accidentes derivados de la operación de la máquina de que se trate.

Considerado lo anterior en el contexto del presente trabajo, dichos criterios y objetivos se manifiestan como un conjunto de condiciones esenciales para el sistema que se busca diseñar. En el capítulo seis, donde se desarrolla la propuesta, se verá de qué manera los requisitos establecidos para generar el sistema han tomado en consideración los objetivos y criterios aquí mencionados.

5.1.3 Funciones expresivas

El objeto diseñado que, como ya se señaló, al constituir un ente sensible independiente de su creador, tiene necesariamente una composición física que lo dota de capacidades morfológicas. Dichas capacidades permiten trabajar compositivamente sus elementos, teniendo así la posibilidad de ofrecer información al usuario.

La información que se transmita al usuario puede implicar la decodificación como parte de un lenguaje sígnico, simbólico y estético. Las funciones semióticas se refieren a las características sensibles que posibilitan que el objeto y su información se interpreten acertadamente por el usuario.

Para que pueda ocurrir dicha interpretación, es necesario emplear un lenguaje que el usuario pueda descifrar, lo que implica en primera instancia conocer las características del usuario, de su entorno y de su cultura, pues los lenguajes más básicos empleados en un proceso de comunicación son mayoritariamente sígnicos, es decir, compuestos por signos.

En este punto es importante recordar que el signo se compone por dos elementos imprescindibles: el significado, que es lo que se busca comunicar; y el significante, que es su representación sensible. Asociados ambos por naturaleza o por convención, el usuario debe ser consciente de esa asociación para poder entender el mensaje que a través del signo se transmite.

De la sencillez o complejidad del lenguaje empleado, entendido éste como un sistema de signos, dependerá entonces la interpretación que en el usuario servirá como acción motora para una reacción que modifique el estado enunciado del objeto.

Dado que cotidianamente se emplean muchos objetos diseñados para la solución de problemas y para la satisfacción de necesidades, es importante establecer un adecuado nivel de comunicación entre los objetos y sus usuarios. Esa comunicación permite conocer las capacidades de operación del objeto, y puede facilitarse mucho si se establece cierta “atracción” hacia el usuario, lo que normalmente se logra a través de las funciones expresivas.

Según lo descrito, las funciones expresivas pueden subdividirse en tres grandes grupos, el de las funciones indicativas, el de las funciones simbólicas y el de las

funciones estéticas. Se mencionarán a continuación las características más importantes de los tres grupos, con la intención de clarificar la toma de decisiones que en el aspecto expresivo se realiza posteriormente en la propuesta de diseño.

5.1.3.1. Funciones indicativas

El primer grupo, las funciones indicativas, está conformado por aquellos aspectos que permiten que el objeto diseñado muestre claramente al usuario la condición prevalente en el objeto o en sus dependientes, previa a la intervención del usuario. Se trata netamente de un proceso de comunicación de un estado, para lo cual es necesario establecer las condiciones que permitan el entendimiento por parte del usuario.

Hay que mencionar, sin embargo, que la función indicativa en el objeto tiene normalmente aspiraciones de señal, es decir, de ser un signo que más que invitar a su desciframiento tiene la intención de convocar una reacción inmediata del usuario (FRUTIGER, 2002). Ello es posible cuando la serie de signos empleados tiene una claridad y simplicidad tales que, por una parte implican una asociación automática con el significado, y por otra parte resultan identificables para usuarios de diferentes contextos culturales.

Además de enunciar el estado en que el objeto o sistema se encuentren, los signos en el objeto sirven también para mostrar la manera de operarlo con tal de cambiar el estado enunciado cuando el usuario lo juzgue pertinente. Esto se logra gracias a la característica denotativa que, en tanto que señales, poseen los elementos operables del objeto. Gracias a su forma, dichos elementos operables permiten que el usuario reconozca si deben ser deslizados, presionados, rotados o manipulados de otra forma (AGUIRRE, 2004).

Como queda expresado, las funciones indicativas tienen la finalidad de mostrar el estado del objeto, indicar la manera de operarlo, y producir una reacción en el usuario, tendiente a generar un cambio en el estado manifestado. No son, sin embargo, las únicas funciones expresivas que posee el objeto diseñado, a continuación se hablará de las funciones simbólicas.

5.1.3.2. Funciones simbólicas

Al hablar de procesos de comunicación es necesario mencionar que no todos los signos muestran una relación estrecha, completa o inequívoca con los significados a que refieren. Frecuentemente nos vemos enfrentados a signos que no permiten una interpretación obvia, pues su significado depende de una convención no generalizada (tal como ejemplifica FRUTIGER, 2002). Es el caso de los símbolos, que son signos que hacen una evocación convencional de algo no completamente enunciado en su propia estructura sensible.

Se trata de la enunciación de conceptos, ideas, pensamientos o características cuya representación, hasta cierto punto abstracta e incluso críptica, que es convenida por un grupo de individuos para lograr una identificación o comunicación interna. Resultando por tanto equívoca o insignificante para los individuos que no pertenezcan a dicho grupo.

Las funciones simbólicas, por lo tanto, implican en su expresión una evolución de lo sígnico hacia un plano menos evidente de comunicación. Incorporan normalmente características presentes en el contexto social, histórico, filosófico, del momento y lugar en que se generan, y su permanencia como elementos de comunicación efectiva está relacionada directamente con la vigencia de los grupos y significados para los que se crean.

Aplicadas al objeto de diseño, las características simbólicas adecuadamente seleccionadas pueden permitir una relación de uso más efectiva, o un sentimiento de vinculación con el objeto y por lo tanto de mayor satisfacción con su posesión o uso. Al encontrar más atractivo el objeto tanto al nivel conductual como en el visceral, y no solamente en el nivel reflexivo, la eficiencia en la consecución de los objetivos para los que el objeto diseñado se creó, se incrementan notablemente (NORMAN, 2005).

Ahora bien, ¿qué características pueden considerarse simbólicas en un sistema como el que se piensa realizar en esta investigación? Para responder hay que precisar que cuando se habla de significación e identificación no solamente se hace con un sentido gremial o gregario, sino que se involucran también aspectos sociales, económicos y aspiracionales.

En ese sentido, existen ciertas características morfológicas de los objetos que pueden relacionarse por diferentes sectores sociales como pertenecientes a un cierto nivel socioeconómico, a cierta época, a un grado de innovación tecnológica determinado, o pensados para ser operados por personas con cierto nivel formativo. Todo ello resulta importante para atraer a un mercado objetivo cuando se trate de distribuir un producto dado, ya sea comercial o no comercialmente.

De acuerdo con lo anterior, la propuesta de diseño que se realiza en esta investigación deberá considerar las características deseables compositiva y morfológicamente hablando, que hagan deseable el sistema a diseñar para el usuario objetivo. Dichas características se mencionarán más adelante, en el capítulo 6.

5.1.3.3. Funciones estéticas

Las funciones estéticas son las únicas funciones expresivas que no tienen una carga semiótica intrínseca. Se trata de una serie de características netamente morfológicas,

que al ser percibidas en su conjunto refieren a nociones de composición como simetría, orden o caos, estabilidad, equilibrio o desequilibrio, simplicidad o complejidad.

Esas nociones se relacionan con principios estéticos que le confieren al objeto un cierto grado de aceptación o rechazo por parte del usuario, aunque no como en los casos anteriores, basados en interpretación, sino en un nivel más básico, de proximidad o lejanía con ciertas preferencias personales de expresión y orden.

Por supuesto que éstas no están desligadas de las otras funciones expresivas, dado que al percibir las características de un objeto, no se realiza un análisis que las separe, valore y juzgue independientemente, sino que se aprecian interrelacionadas entre sí y de manera simultánea. Lo estético, sin embargo, no tiene por sí mismo un significado convencional sino uno asignado culturalmente o preferido individual o colectivamente.

La generación de un objeto diseñado, considerado como un producto de consumo dirigido a una población específica, implica que la propuesta que atienda las funciones estéticas considere aquellos valores estéticos que para dicha población tengan mayor probabilidad de aceptación. Lo cual requiere un conocimiento no superficial de la población de que se trate. Circunstancia que en consecuencia se tomará en cuenta para la definición de requisitos que se presenta en el capítulo siguiente.

5.1.4 Funciones económicas

Las funciones económicas incluyen todos los aspectos que permiten que el objeto diseñado sea factible de producirse y distribuirse adecuadamente en la sociedad, cuidando que sea accesible al público que se determine como objetivo. De ellas depende que el esfuerzo realizado en el diseño llegue a mejorar efectivamente las condiciones de vida de los usuarios a quienes está destinado, y que al mismo tiempo genere una oportunidad de desarrollo económico.

Tener un diseño que cubre perfectamente las funciones prácticas y expresivas pero no las económicas equivale a tener un objeto funcional, fácil de operar y atractivo que resulta inaccesible o no costeable para las personas que necesitan de él. De este modo, es muy importante considerar además las técnicas y medios de producción que permitan que el objeto sea manufacturado; las especificaciones de materiales y procesos que permitan un tiempo de vida útil acorde con las necesidades detectadas sin producir un impacto ambiental negativo y facilitando su re-uso o su reciclaje; y las estrategias y canales de distribución hacia los usuarios intermedios y finales.

Hay que aclarar, en este punto, que los factores económicos son interdependientes entre sí, dado que las decisiones realizadas para atender a los requisitos marcados por alguno de ellos afectan necesariamente a los otros.

Para entender mejor esta consideración atiéndase el siguiente ejemplo: una decisión relativa a la selección de los materiales de un objeto implicará la necesidad de emplear una serie de procesos de manufactura que sería diferente de haberse elegido otro material; esos dos factores, a su vez, tendrán un cierto impacto en los factores comerciales dado que los costos de los materiales y de sus respectivos métodos de manufactura pueden determinar que el costo final del producto quede al alcance de un segmento de mercado específico y no de cualquiera, lo que tendrá como consecuencia la preferencia por una estrategia de promoción y comercialización efectiva para ese grupo de población.

A continuación se describirán los tres aspectos mencionados, los factores de producción, los factores ambientales y los comerciales, que en el capítulo siguiente serán considerados al momento de establecer los requisitos del sistema a diseñar y al momento de generar la propuesta de diseño.

5.1.4.1. Factores de producción

Los factores de producción comprenden aquellos aspectos relacionados con la transformación del modelo preliminar hasta el objeto de serie que tendrá a su alcance el usuario final. Dicha transformación pasa por el desarrollo de prototipos y pruebas que permiten determinar la viabilidad del diseño realizado en términos de su manufactura y costo de producción. No son los mismos procesos empleados para la realización de las maquetas y modelos, que frecuentemente se hacen uno a la vez y con técnicas manuales, los que se emplearán para el producto de serie. Incluso pueden ser diferentes entre distintas producciones en serie, pues producir cientos de ejemplares es muy distinto a producir miles o millones de ellos.

Así pues, una vez se logra el modelo definitivo éste debe convertirse en prototipo. Atendiendo a la etimología del término, del griego *πρωτος* (protos), primero y *τυπος* (typos), impresión, un prototipo es de un objeto el primero en su tipo,³⁹ es decir, se trata del primer objeto con las características deseadas, pero que al mismo tiempo es el último de los modelos de prueba construidos.

En un proceso de desarrollo de producto se tiene normalmente una serie de modelos de prueba que van verificando progresivamente las características determinadas por los cuatro conjuntos de funciones del objeto diseñado, aunque más comúnmente las prácticas y operativas. A cada grupo de pruebas corresponde un grupo de resultados que deberían, en caso necesario, convertirse en modificaciones al prototipo probado y como consecuencia propiciar la construcción de la siguiente generación del prototipo. Esta secuencia se realiza de manera iterativa hasta lograr el prototipo funcional, que ya incorporará las características más próximas al producto de serie.

³⁹ Según la definición de la Real Academia de la Lengua, un prototipo es el “ejemplar original o primer molde en que se fabrica una figura” (RAE, 2001).

Los factores de producción se mencionarán también en el subcapítulo de Diseño para la producción, pues como se explicó, considerarlos es imprescindible cuando se traten de definir las características que un diseño deba tener para poder ser producido.

5.1.4.2. Factores ambientales

Los factores ambientales se refieren a la relación entre el conjunto conformado por las materias primas, los insumos, procesos de manufactura, procesos de comercialización, condiciones de uso y mantenimiento, condiciones de re-uso y procesos de reciclaje; y el impacto ambiental producido por cada uno de esos rubros.

Hasta hace algunos años los procesos de producción se consideraban de una manera lineal, teniendo en un extremo las materias primas y en el otro los productos fabricados, y quedando en medio los insumos, subproductos y desechos. Sin embargo se ha visto la necesidad de replantear ese modelo de producción, pues en realidad los productos tienen una vida útil determinada que una vez agotada convierte a los objetos en desechos si no se planifica la manera de reutilizar sus materiales o de reciclarlos para convertirse así en insumos para otros productos.

A la planificación de todos esos factores que permiten una visión más amplia de lo concerniente a la producción de objetos se le ha llamado Administración de Ciclo de Vida (PLM),⁴⁰ y permite tener una idea más clara de la pertinencia del uso de materiales, de las posibilidades de re-uso y reciclaje, y de los montos de emisiones generados por cada una de las fases del ciclo. Se tiene así una nueva serie de datos que permiten al diseñador elegir materiales y procesos de manera más completa, asumiendo una parte de la responsabilidad del impacto ambiental.

⁴⁰ Conocido en inglés como *Product Lifecycle Management* (PLM), este proceso de administración ha resultado ser muy efectivo no solamente para mejorar el impacto ambiental de los productos, sino también para optimizar los recursos financieros y económicos relacionados con su desarrollo y comercialización. Actualmente la mayor parte de las grandes empresas aplican diversas técnicas de PLM como NPD, DFMA, Six Sigma y otras más.

De acuerdo con esa información es posible, por ejemplo, especificar materiales e insumos locales que evitan los costos y perjuicios que generaría el trasladarlos desde puntos alejados del planeta. Se puede también tener un elemento que facilite la toma de decisiones al especificar materiales de iguales propiedades químicas, mecánicas o estéticas, pero con diferente tasa de emisiones requerida por sus procesos de manufactura.

Mencionado lo anterior, resulta importante decir que para que un producto pueda preciarse de contribuir al ahorro energético, es necesario que sus especificaciones relacionadas con el Ciclo de Vida eviten utilizar materiales contaminantes o que demanden excesivas cantidades de energía o de insumos, así como procesos que tengan un impacto ambiental negativo. De esta manera, al describirse la propuesta de diseño en el capítulo posterior se mencionarán los criterios recomendados para producir el sistema de acuerdo con una PLM que intente evitar un impacto ambiental negativo.

5.1.4.3. Factores comerciales

Los factores comerciales abarcan aquellos aspectos relacionados con la financiación del desarrollo, producción, distribución y comercialización de un producto. Son muy importantes pues sin recursos suficientes no puede realizarse el desarrollo, dentro del que se incluye el diseño propiamente dicho.

Por supuesto, según el tipo de producto a desarrollar los recursos necesarios varían grandemente. En el caso de un automóvil, por ejemplo, el desarrollo lleva varios años de trabajo constante de diferentes equipos de diseño y planeación, y ese costo de desarrollo debe ser sobradamente cubierto por los recursos generados durante el período de comercialización del vehículo, y es algo que de forma proporcional influye también en el precio que el usuario final paga por adquirirlo, además de los costos de

materiales y procesos de manufactura intrínsecos al objeto. Por contraste, hay objetos que se diseñan en apenas unas semanas por un solo equipo de trabajo, y como consecuencia el costo de desarrollo representará una cantidad mucho menor a incorporar al precio del objeto.

En algunas ocasiones, parte de las funciones del producto abarcan también la comunicación de pertenencia a un cierto nivel socioeconómico,⁴¹ y en consecuencia las estrategias de distribución y comercialización deberán manejar un discurso y una serie de técnicas encaminadas a que dicha comunicación ocurra eficientemente.

Por lo que se refiere al diseño propiamente dicho, el tener como una de las funciones económicas el refuerzo de un cierto estatus implica manejar un lenguaje específico adecuado al mismo, y ello influye en las características morfológicas del diseño, así como en la selección de materiales y procesos. La producción en serie no ha sido obstáculo para que se generen objetos de lujo, pues basta generar series limitadas, o especificar materiales costosos para transformar un artículo para las masas en un artículo exclusivo. Morfológicamente, sin embargo, es frecuente que se introduzcan variaciones en los diseños en serie para incorporar un valor agregado que refuerce su costo más elevado, y de esa manera surgen las ediciones especiales.

Por otra parte, las funciones económicas también incluyen los aspectos relacionados con distribución y comercialización, funciones que influyen en la toma de decisiones de procesos como el diseño de envase y embalaje, así como de las estrategias de venta. Estos aspectos son muy importantes, pues en ocasiones el diseño que presenta un producto, la forma y el lugar en que le son ofrecidos al usuario y la información que el propio producto contenido en su envase dan en un primer momento al usuario, son factores que deciden el interés del usuario por el producto.

⁴¹ Existen incluso factores como el Efecto Veblen, que describe el incremento en el deseo de poseer un objeto en la medida en que tiene un precio más elevado. Este efecto deriva de una correlación entre las aspiraciones de una persona, su necesidad de ser vinculado con un cierto status y la dificultad o cuantía del esfuerzo que se ve obligada a realizar para obtener un bien de consumo (LIDWELL, HOLDEN y BUTLER, 2010).

Si el diseño logra atraer la mirada del usuario, si le ofrece un discurso claro en el momento oportuno, existirá una probabilidad elevada de que el usuario decida tener el objeto o por lo menos conocer más acerca de él, lo que establece la base para la compra y posterior uso del objeto diseñado. Si por el contrario la información presentada es confusa, si el diseño no logra atraer la mirada del usuario para el que fue pensado el objeto, se corre el riesgo de que el objeto no llegue nunca a estar en las manos del usuario para quien se pensó, lo que haría fracasar la cadena completa de desarrollo y manufactura.

Es pues el de las funciones económicas, un conjunto de aspectos que tienen la finalidad primordial de asegurar que el resultado de los procesos de planeación, desarrollo, diseño y manufactura tengan una adecuada inserción en el mercado. Se trata de poner el objeto final en las manos de quien podrá beneficiarse de él, independientemente de que se requiera una transacción comercial o no, pues inclusive los objetos que se distribuyen gratuitamente deben manejar el lenguaje apropiado, tener la apariencia necesaria, para que finalmente se usen para resolver el problema o satisfacer la necesidad que les dieron origen.

5.2. Diseño para la producción

El diseño, como se ha señalado anteriormente, tiene la misión de generar objetos que permitan al usuario final modificar una situación, satisfacer una necesidad o resolver un problema. Para que ello sea posible, es necesario que el objeto diseñado sea producido, es decir, que se pase del prototipo al objeto de serie. Ahora bien, existe una serie de diferencias entre ambos, pues cuando se concibe el objeto y se hacen las pruebas, por lo general se trabaja con un objeto único hecho a mano o con ayuda de sistemas de manufactura automatizada de prototipos,⁴² que difieren en algunas características del objeto que finalmente el usuario va a poder tener, pues cuando llega ya al usuario se habla de un producto generado en serie y por lo tanto que incorpora características derivadas de adaptar el diseño a las líneas de producción.

Así, cuando se realizan las pruebas preliminares, el objeto diseñado es muy parecido, pero no siempre idéntico al que el usuario podrá utilizar. La realización de las pruebas permite, precisamente, definir características deseables en el producto de serie que en ocasiones significan la adición o supresión de elementos y rasgos.

Por supuesto que una vez obtenido el producto de serie pueden realizarse también diferentes tipos de pruebas, inclusive ya directamente con el usuario, que son importantes no ya para definir características del producto, sino para su incorporación en una siguiente “generación” de objetos. Es así que los objetos evolucionan, pues van incorporando no solamente cambios estilísticos, sino mejoras y modificaciones en sus diferentes formas de solución a las funciones establecidas.

⁴² Los sistemas de manufactura de prototipos se conocen en la industria por sus siglas RPT (*Rapid Prototyping*) o RP&M (*Rapid Prototyping and Manufacturing*) y consisten en una serie de técnicas para moldear, acumular, solidificar, quemar o fundir material a partir de un modelo digital tridimensional. Son “impresoras” de material que permiten obtener la forma diseñada para realizar pruebas.

Además de lo anterior, hablar de producción implica normalmente pensar en las máquinas que se encargarán de dar forma definitiva al producto, pues es posible producir manualmente ciertas formas o acabados que no resulten viables al no haber máquinas capaces de esos resultados, o al ser excesivamente costosas.

Se entra a un campo que el diseño industrial comparte con la ingeniería, pues han de establecerse las líneas de producción que permitan obtener el producto de serie. Se deben definir y optimizar los procesos que componen la línea, a fin de que además de obtener el resultado deseado ello no lleve demasiado tiempo, no requiera demasiados insumos, no genere desechos indeseables ni requiera un gran número de personas en su elaboración, pues cada uno de estos factores pondría en riesgo de inviabilidad la producción del objeto diseñado.

Todo ello implica que quizás la selección de materiales y procesos de manufactura quede constreñida a aquellas técnicas que estén al alcance, lo que en ocasiones implica modificaciones al diseño, no en su discurso hacia el usuario pero sí en los sistemas de fijación de piezas, de ensamble y refuerzo de las mismas, o de dimensiones en los ajustes, tolerancias y candados.

No es el mismo tipo de moldes el que se utiliza para trabajar metal que para trabajar plásticos, por ejemplo. No son los mismos espesores de material los que se manejan al inyectar polímeros que al vaciar metales. Son diferentes procesos los que se emplean al dar un acabado pulido que uno cepillado.

Todas esas decisiones, que quizás por sí mismas no implican un cambio en el acomodo compositivo de los elementos del objeto, ni una adición o supresión de indicadores, controles o mecanismos, sí tienen una repercusión en la solución de detalle, pues implicarán cambios de espesores, estructuras, ensambles y acabados, y por lo tanto tendrán una repercusión en el tiempo y el costo de fabricación.

El diseño general permanece, pero los detalles cambian, eso es lo que hace diferente al producto de serie de las varias generaciones de prototipos previos. Inclusive hablando ya de productos de serie, no es lo mismo producir algunos centenares en un taller de dimensiones modestas que producir cientos de miles en una gran fábrica. Al estar involucradas maquinarias de diferentes tipos, y aunque pueda tratarse de la misma técnica de manufactura, se hace necesario revisar el diseño y hacer ajustes que permitan garantizar un resultado final que a pesar de los cambios en la manufactura siga haciendo viable su producción y aceptable el objeto cuando llegue al usuario final.

En el diseño que se propone realizar, se considerará la selección de materiales que permita previsualizar y proponer los ajustes correspondientes al diseño, aunque no se busca llegar a obtener como resultado de esta investigación un objeto de serie.

5.3. El diseño de lo cotidiano

Diseñar los objetos que se usan diariamente implica conocer las necesidades y los hábitos de la gente. Y aún cuando se conozcan, es también muy importante tomar en cuenta al diseñar que no son los usuarios quienes deben adaptarse a un objeto, sino al contrario, el objeto debe estar pensado en concordancia con las características del usuario.

Por más simple que sea la acción que el objeto demandará del usuario, se trata de garantizar el funcionamiento del objeto con el mínimo esfuerzo necesario. No son pocos los diseños que por requerir un esfuerzo importante al usarse son desechados después de un corto tiempo, cuando no se convierten en fuente de frustraciones para el usuario, quien ve resuelta una necesidad a cambio de un nuevo problema.

Es importante por lo tanto, que el diseñador se ponga en el lugar de la persona que usará el producto para tratar de contemplar las posibles dificultades que entrañará el aprovechamiento de lo que se diseña. Se puede entonces recurrir al paradigma de Diseño Centrado en el Usuario.⁴³

Cuando se pide a un usuario realizar una tarea simple y no se obtiene el resultado esperado, es frecuente que el usuario se culpe a sí mismo del error o fracaso (NORMAN, 2002). Sin embargo, desde el punto de vista del diseño es necesario repetir la observación (iterar el proceso) con otros usuarios para tratar de determinar si en realidad es el diseño el responsable del error. Hay que tener presente que cuando el usuario se enfrenta al objeto no cuenta como antecedente con la lógica seguida en el proceso de diseño, muchas veces será el primer contacto con el objeto,

⁴³ *User-Centered Design* o UCD por sus siglas en inglés. Se trata de un conjunto de valores que se asocian como una filosofía o modelo de diseño. A través de los años se han comprobado varios de esos valores como la Usabilidad, el Diseño Participativo y el Diseño Contextual, y aunque existe gran aceptación de los principios involucrados, no hay metodologías universales sobre el tema.

ya que solamente en algunos casos habrá leído previamente la hoja de especificaciones o el manual de uso. Y es labor del diseñador asumir que esos casos serán frecuentes, de tal manera que el diseño propuesto debe evitar que sea necesaria una fase de documentación previa al uso. Por supuesto ello no ocurre en todos los casos, pues sería irresponsable operar una maquinaria o un vehículo sin antes conocer su modo de operación. Aún así el hecho de que el diseño sea intuitivo para el usuario deberá facilitarle las cosas lo más posible.

En el momento de probar el sistema (capítulo 7), se tomarán en cuenta los principios del Diseño Centrado en el Usuario para valorar las características del diseño generado y su relación con la población objetivo.

5.4. Diseño y transdisciplina

Transdisciplina es el trabajo que requiere para su solución abordar un enfoque que no se limita a las metodologías y prácticas de una sola disciplina. Dicho trabajo puede ser teórico o aplicado, y significa una respuesta frente a la hiperespecialización, fenómeno que ocurre al profundizar en una disciplina y que refiere a la consecuencia habitual de saber cada vez más de un área de conocimiento cada vez menor. Entre más especializado sea el conocimiento más específico se torna y es más difícil relacionarlo con otras áreas de conocimiento, lo que reduce su potencial de aplicación.

La transdisciplina busca observar los problemas en todas sus dimensiones,⁴⁴ antes de decidir qué disciplinas permitirán abordarlo, así, se tiene una visión más amplia que permite seleccionar áreas de conocimiento diferentes y no necesariamente vinculadas de forma causal directa para la búsqueda de una solución que desde un enfoque disciplinar no sería posible, pues quedaría parcialmente fuera del campo desde el que se abordara.

Más allá de buscarse que el trabajo se dé siempre de forma colectiva o colaborativa (aunque desde la transdisciplina se reconoce el valor importante que estos tipos de trabajo aportan y se fomenta siempre que sea posible), se busca que el pensamiento se vea liberado en la fase del planteamiento del problema, de los enfoques tradicionales y finitos de una sola disciplina, y se trate de observar en su dimensión real, completa, variada, no siempre vislumbrada en su complejidad por parámetros preestablecidos en el ámbito unidisciplinar.

⁴⁴ De acuerdo con la definición que aporta Morin (2001), debería preferirse definir un problema desde una perspectiva disciplinar abierta antes de decidir qué campos de conocimiento deberían aportar soluciones, en lugar de hacerlo desde la disciplina que inicialmente lo formula o se enfrenta a él.

No se trata tampoco de la simple participación de diferentes disciplinas, pues dicho escenario hablaría más de multidisciplina que de transdisciplina. Se trata, sí, de la intervención de varias disciplinas pero con la disposición a dejar de apegarse a los enfoques acostumbrados por cada disciplina, con la disposición inclusive de transgredir los procesos metodológicos disciplinares si el problema tratado lo requiriere.

PROPUESTA DE DISEÑO

CAPÍTULO 6

GENERACIÓN DE UN SISTEMA PARA EL AHORRO ENERGÉTICO ELÉCTRICO EN MÉXICO

6.1 Problema de diseño

De acuerdo con el contexto que se ha descrito, el problema de diseño consiste en la creación de un sistema de ahorro de energía eléctrica para uso doméstico, concebido no solamente como la solución técnica sino como una solución que implica, además, el diseño mismo de los dispositivos y sus respectivas interfaces de usuario.

Concebir un conjunto de objetos como un sistema requiere el manejo de códigos, es decir, de una serie de signos que puedan ser interpretados adecuadamente por un conjunto de individuos. He ahí el principal reto de diseño en este trabajo.

Se trataba de diseñar los apagadores, módulos receptores y tomacorrientes como un conjunto de objetos que debían informar al usuario del estado del sistema, de las partes activas o inactivas y de su relación con la iluminación y los aparatos de la vivienda. Vivienda, cabe recordar, que en su mayoría está ya construida y a la cual debería adaptarse el diseño para que, a la vez que se hiciera objeto de deseo, no resultara extraño en el entorno de la clase media mexicana de centros urbanos.

La definición del problema de diseño llevó directamente al planteamiento de una serie de objetivos de cuyo cumplimiento en las fases de diseño dependería la obtención del diseño buscado. El diseño en este caso resulta ser un elemento de la mayor importancia, pues de su éxito dependerá que la solución técnica sea aceptada y usada, no bastando que cumpla su función de ahorrar electricidad.

6.2 Objetivos de Diseño

- Definir las diferentes partes (elementos) de que constará el sistema, así como las relaciones entre ellas que permitan obtener la operatividad que se desea.
- Definir los indicadores necesarios para informar al usuario el estado del sistema y sus componentes, de acuerdo con el principio de operación seleccionado.
- Determinar los mecanismos de control del sistema, que permitan al usuario operar de manera sencilla e intuitiva los componentes necesarios del sistema.
- Generar una serie de propuestas compositivas que integren de diversas maneras los indicadores y los mecanismos de control, con la finalidad de contar con una base creativa diversa.
- Definir y aplicar criterios de diseño que permitan la selección de la propuesta a desarrollar, de entre las alternativas generadas.
- Construir los modelos virtuales o reales necesarios para probar y afinar el sistema mediante un experimento

6.3 Definición de elementos del sistema

Se sabe que el sistema debe permitir el ahorro eléctrico en una vivienda, y el principio de operación que se busca aplicar determina que se hará mediante la desconexión de subcircuitos a partir de un dispositivo principal. De acuerdo con ello puede definirse la necesidad de que el sistema esté compuesto por los diferentes elementos, cada uno permitiendo la realización de funciones específicas.

Se requiere entonces de un Módulo principal que permita encender y apagar el sistema completo, y que además pueda comunicarse con los dispositivos que realicen la conexión o desconexión de los subcircuitos.

Los Módulos secundarios, serán entonces aquéllos que permitan encender y apagar los subcircuitos, y que deberán poder activarse desde el Módulo principal.

Finalmente, y para que el sistema permita completamente el ahorro previsto, es necesario controlar la conexión y desconexión de los aparatos, por lo que se requiere un tercer módulo, que se llamará Módulo de aparatos, y que se encargará de proporcionar o negar la corriente a los aparatos, sean éstos luminarias o tomacorrientes a los que estén conectados los electrodomésticos.

De esta manera, se definen como elementos del sistema:

- Un Módulo Principal.
- Varios Módulos Secundarios.
- Varios Módulos de Aparatos.

6.4 Determinación de funciones y requisitos

Las funciones que debe cubrir el sistema a nivel de diseño pueden dividirse en cuatro grupos, a saber: funciones operativas, prácticas, comunicativas y económicas.

El primer grupo de funciones, las operativas, hacen necesario que el diseño considere los dispositivos electrónicos que se encargarán del ahorro eléctrico y del funcionamiento del sistema, de tal manera que se facilite la manipulación de los controles que permitan variar las condiciones del sistema según lo requiera el uso.

Dispositivo	Funciones operativas
Módulo Principal	<ul style="list-style-type: none">• Encendido y apagado del sistema completo (circuito de toda la vivienda).• Encendido y apagado de subcircuitos.• Comunicación remota con los Módulos Secundarios.
Módulo Secundario	<ul style="list-style-type: none">• Encendido y apagado de subcircuitos a petición del Módulo Principal.• Encendido y apagado de Módulos de Aparatos.• Comunicación con Módulos de Aparatos.
Módulo de Aparatos	<ul style="list-style-type: none">• Encendido y apagado de luminarias.• Encendido y apagado de tomacorrientes.

Tabla 3. Módulos del sistema y sus funciones operativas.

El grupo de funciones prácticas debe ser, a su vez, las que consideren la interfaz de usuario en sus aspectos prácticos como serie de paneles de control; en segundo lugar el grupo de funciones que considere la interfaz de usuario en sus aspectos comunicativos como signo; en tercer lugar el grupo de funciones que considere el sistema en sus aspectos operativos como herramienta para el ahorro de energía; y finalmente el grupo de funciones que considere el sistema en sus aspectos económicos como objeto connotativo de un nivel socioeconómico medio.

El diseño debe permitir activar o desactivar los componentes del sistema que resulten relevantes para una situación de uso dada. Es decir, que el diseño debe permitir la operación de los módulos a voluntad del usuario dentro de una serie de condiciones que se establezcan con base en la tecnología empleada y que necesariamente deberán ser explicadas al usuario.

Dispositivo	Funciones prácticas
Módulo Principal	<ul style="list-style-type: none"> • Encender el sistema. • Apagar el sistema. • Encender subcircuitos. • Apagar subcircuitos.
Módulo Secundario	<ul style="list-style-type: none"> • Encender su subcircuito. • Apagar su subcircuito. • Activar Módulo de Aparatos. • Desactivar Módulo de Aparatos.
Módulo de Aparatos (luminarias)	<ul style="list-style-type: none"> • Encendido de luminarias. • Apagado de luminarias.
Módulo de Aparatos (tomacorriente)	<ul style="list-style-type: none"> • Activación de tomacorrientes. • Desactivación de tomacorrientes.

Tabla 4. Funciones prácticas de los módulos del sistema.

Las funciones comunicativas implican que los componentes del sistema que presenten una interfaz de usuario deberán contar con elementos de comunicación que sean fácilmente interpretados por el usuario y que sean capaces de expresar la situación actual del sistema en cualquier momento, no solamente considerando el encendido o apagado del sistema completo, sino incluyendo también una indicación de las partes del sistema activas o inactivas. Además de ello, estas funciones comunicativas requieren también que el sistema pueda ser identificado como un diseño atractivo por el usuario, sin implicar connotaciones de objeto costoso ni de objeto de dudosa calidad, de tal manera que el lenguaje que se proponga deberá considerar las características contextuales del usuario. En otras palabras, implican la posibilidad de que los componentes del sistema actúen como símbolos en el contexto de uso y permitan la identificación y comunicación de un cierto nivel de simplicidad, sofisticación, innovación o adaptación, según las características estéticas que se seleccionen y las opciones que se brinden al usuario en cuanto a apariencia y colocación en su entorno cotidiano.

Dispositivo	Funciones expresivas
Módulo Principal	<ul style="list-style-type: none"> • Estado del sistema (encendido o apagado). • Estado de cada subcircuito (encendido o apagado).
Módulo Secundario	<ul style="list-style-type: none"> • Estado del subcircuito (encendido o apagado). • Estado de luminarias (encendido o apagado). • Estado de tomacorriente (encendido o apagado).
Módulo de Aparatos (luminarias)	<ul style="list-style-type: none"> • Estado de luminarias (encendido o apagado).
Módulo de Aparatos (tomacorriente)	<ul style="list-style-type: none"> • Estado de tomacorriente (encendido o apagado).

Tabla 5. Funciones expresivas del sistema.

Finalmente, el cuarto grupo de funciones, las económicas, implican que las características del diseño en cuanto objeto que se pretende llevar a la producción en serie, contemplen los posibles materiales y procesos de manufactura de acuerdo con las características del mercado en el que se plantea la distribución del sistema. Además de ellos, este grupo de funciones señala también una serie de características en cuanto a la presentación del producto hacia el usuario, por lo que resultará importante, aún cuando no se obtenga al finalizar la investigación el producto de serie, que se especifiquen las características deseables para su diseño de envase, embalaje y distribución.

6.4.1 Requisitos prácticos del sistema

De acuerdo con las funciones anteriormente descritas, los elementos mínimos operativos, prácticos y expresivos que se requieren para la operación del sistema son los que se describen en la siguiente tabla.

A efecto de contar con un número fijo de elementos del sistema y poder probarlo posteriormente con los usuarios, se decidió no dejar abierto el número de componentes, sino fijar una configuración. Dicha configuración debería poder controlar 4 subcircuitos, por lo que se optó por trabajar con 1 Módulo Principal, 6 Módulos Secundarios, y 2 Módulos de Aparatos, que es lo que se considera bastaría para una vivienda media tipo, con una dimensión entre 40 y 85m² que contase con 2 habitaciones, una cocina, un baño y una estancia (sala y comedor). Desde luego, siempre es posible incrementar el número de módulos para los mismos espacios, pero este número permitiría hacer pruebas combinatorias completas de usabilidad, razón por la cual se eligieron esas cantidades de módulos. Establecido así, este conjunto de dispositivos integrando el sistema, se designará en lo sucesivo como la Configuración Básica Establecida (CBE).

Dispositivo	Funciones prácticas	Elementos prácticos	Elementos expresivos
Módulo Principal	<ul style="list-style-type: none"> • Cambiar el estado del sistema (encendido o apagado). 	<ul style="list-style-type: none"> • Interruptor del sistema. 	<ul style="list-style-type: none"> • Indicador de estado del sistema.
	<ul style="list-style-type: none"> • Cambiar el estado de cada subcircuito (encendido o apagado). 	<ul style="list-style-type: none"> • Interruptor para cada subcircuito. 	<ul style="list-style-type: none"> • Indicador de estado de cada subcircuito.
Módulo Secundario	<ul style="list-style-type: none"> • Conocer el estado del subcircuito (encendido o apagado). 		<ul style="list-style-type: none"> • Indicador de estado del subcircuito.
	<ul style="list-style-type: none"> • Cambiar el estado de las luminarias (encendido o apagado). 	<ul style="list-style-type: none"> • Interruptor para cada luminaria. 	<ul style="list-style-type: none"> • Indicador de estado de cada luminaria.
	<ul style="list-style-type: none"> • Cambiar el estado de tomacorrientes (encendido o apagado). 	<ul style="list-style-type: none"> • Interruptor para tomacorrientes. 	<ul style="list-style-type: none"> • Indicador de estado de tomacorrientes.
Módulo de Aparatos (luminarias)	<ul style="list-style-type: none"> • Conocer el estado del subcircuito. 		<ul style="list-style-type: none"> • Indicador de estado del subcircuito.
	<ul style="list-style-type: none"> • Cambiar el estado de luminarias (encendido o apagado). 	<ul style="list-style-type: none"> • Interruptor para cada luminaria. 	<ul style="list-style-type: none"> • Indicador de estado de cada luminaria.
Módulo de Aparatos (tomacorriente)	<ul style="list-style-type: none"> • Conocer el estado del subcircuito. 		<ul style="list-style-type: none"> • Indicador de estado del subcircuito.
	<ul style="list-style-type: none"> • Conocer el estado de los tomacorrientes (encendido o apagado). 		<ul style="list-style-type: none"> • Indicador de estado del conjunto de tomacorrientes.

Tabla 6. Requisitos prácticos del sistema.

6.4.2. Requisitos expresivos

En el capítulo 6 se mencionó que las funciones expresivas abarcan los aspectos indicativos, simbólicos y estéticos del objeto diseñado. En la tabla 6. se enuncian solamente los requisitos expresivos de tipo indicativo, dado que están estrechamente relacionados con la posibilidad de comunicar el estado de cada dispositivo. Sin embargo, todos los elementos del sistema deben incorporar también elementos expresivos de tipo simbólico y estético, que aunque no afectan su funcionamiento, sí modifican su apreciación y valoración por parte del usuario.

En la tabla 7 se enuncian los requisitos simbólicos y estéticos que se consideró resultaban importantes para el sistema completo de acuerdo con los objetivos planteados para esta investigación.

6.4.3. Requisitos económicos

El principal requisito económico consiste en realizar todos los esfuerzos posibles para que el sistema no alcance el precio de venta del sistema más barato disponible en el mercado mexicano. Más aún, se deberían minimizar los costos lo más posible para mantener el sistema en el rango de precios asequible por la población de los segmen-

	Requisitos expresivos
Simbólicos	<ul style="list-style-type: none"> • Simplicidad • Representación icónica • Consistencia • Restricción • Color
Estéticos	<ul style="list-style-type: none"> • Simplicidad • Jerarquía • Alineación • Color

Tabla 7. Requisitos expresivos simbólicos y estéticos.

tos B, C, y D en México. Por supuesto, los costos reales se obtendrán cuando se tenga ya el producto de serie, pero los requisitos económicos no deberían perderse nunca de vista, pues de seleccionar dispositivos o materiales sin considerarlos se correría el riesgo de perder el objetivo de mercado.

De acuerdo con el análisis realizado en el capítulo 4, el sistema más barato disponible en México es el X10Pro, que para la CBE tendría un costo de MEX \$6,850. Por lo tanto dicho precio se considera como la referencia máxima.

6.5 Desarrollo de propuesta

Se realizaron diferentes bocetos incorporando características compositivas y estéticas variadas, de tal forma que la primera generación de propuestas no se viera estrictamente limitada por los requisitos definidos previamente. Se hizo con la intención de contar en un primer momento con la mayor riqueza posible de elementos, a partir de los cuales se comenzó a realizar una selección, ésa sí, determinada por las necesidades detectadas y los requisitos planteados.

Para la generación de la primera serie de propuestas se tomaron en consideración los productos que actualmente se encuentran en el mercado, tanto el nacional como el internacional. Se involucraron por tanto elementos que los usuarios reconocen por formar parte de su entorno cotidiano; se involucraron también elementos que corresponden a dispositivos de última generación aún no presentes en el mercado nacional, con la intención de que pudieran incorporarse aspectos innovadores que garantizaran un buen período de vigencia para el producto. Se tomaron en consideración también aspectos ergonómicos para definir la cantidad y tamaño de los botones, así como de la separación entre ellos, dado que un apagador eléctrico debe ser operado fácilmente por cualquier persona, y no solamente por un grupo de edad determinado. Se decidió también la adición de un elemento físico que permitiera ofrecer una sensación táctil para distinguir la ubicación de los botones.

Se buscó que la serie completa de bocetos mostrara diferentes combinaciones de los elementos referidos, con distintos niveles de complejidad. Más adelante al hacer la selección se discriminarían considerando factores como tipos de materiales, costos de obtención y producción, así como la sustentabilidad de los procesos involucrados.

6.5.1 Proceso creativo

Los primeros bocetos, que se observan en las figuras 9, 10 y 11, constituyeron la base de diseño sobre la cual se fueron seleccionando características deseables atendiendo a principios sintácticos, semánticos y estéticos.

Se inició entonces una serie de combinaciones para probar la relación superficie-botón, y explorar las posibilidades que permitieran un resultado que por su sencillez y originalidad destacara frente a los diseños más estandarizados, al mismo tiempo que se insertara dentro de los estilos industriales prevalentes actualmente para los artículos electrónicos de alta gama, cubriendo también así la satisfacción de necesidades aspiracionales que se presentan en los segmentos medios de mercado.

De las pruebas de combinatoria se obtuvieron las configuraciones básicas para los bocetos a partir de la consideración del principio de jerarquía (Lidwell, Holden y Butler, 2010, p.122). Se decidió entonces que era apropiado que hubiera una diferencia de tamaño y posición contundente entre el botón principal y los botones secundarios (Figura 9). Dichas diferencias deberían permitir al usuario identificar sin lugar a dudas la relación de importancia jerárquica entre los dos niveles mencionados. A partir de esa decisión las combinaciones se realizaron explorando diferentes colocaciones para el grupo de cinco botones, uno principal y cuatro secundarios, de acuerdo con lo establecido en la CBE.

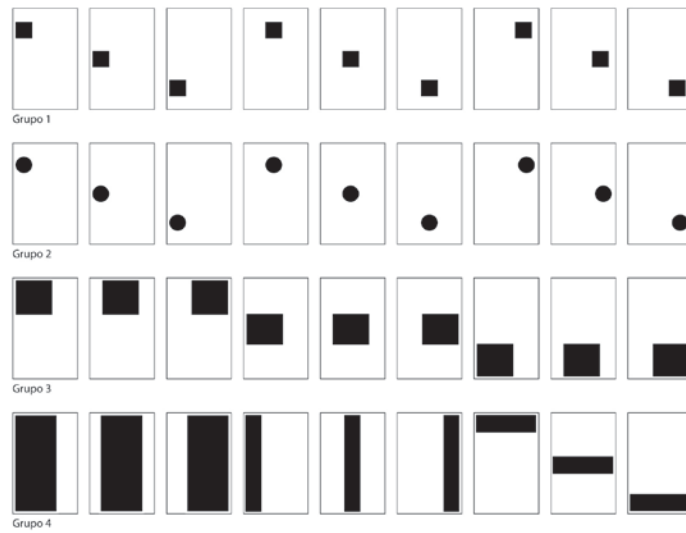


Figura 25. Combinatoria realizada como base creativa. En la imagen se observan posibilidades para el control de encendido del sistema (botón) en relación con la superficie de la placa principal.

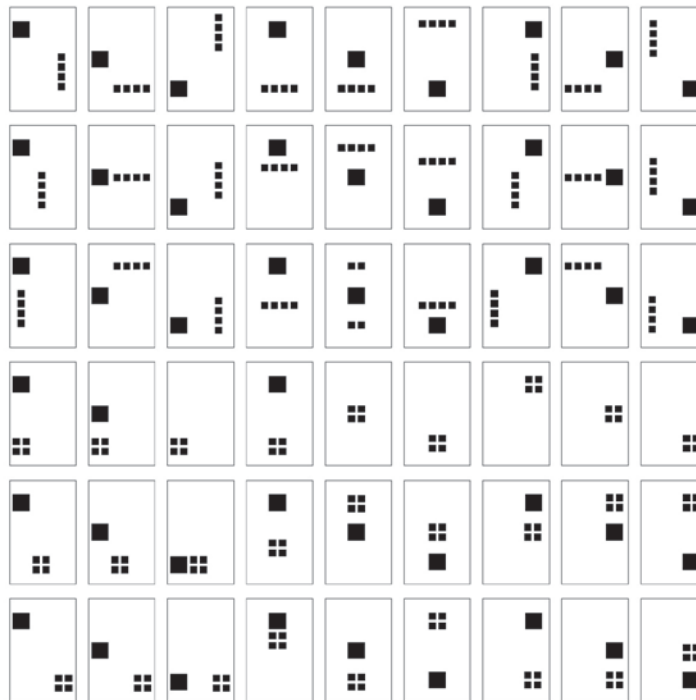


Figura 26. Segunda parte de la combinatoria mostrando composiciones para un botón de encendido del sistema y 4 botones secundarios.

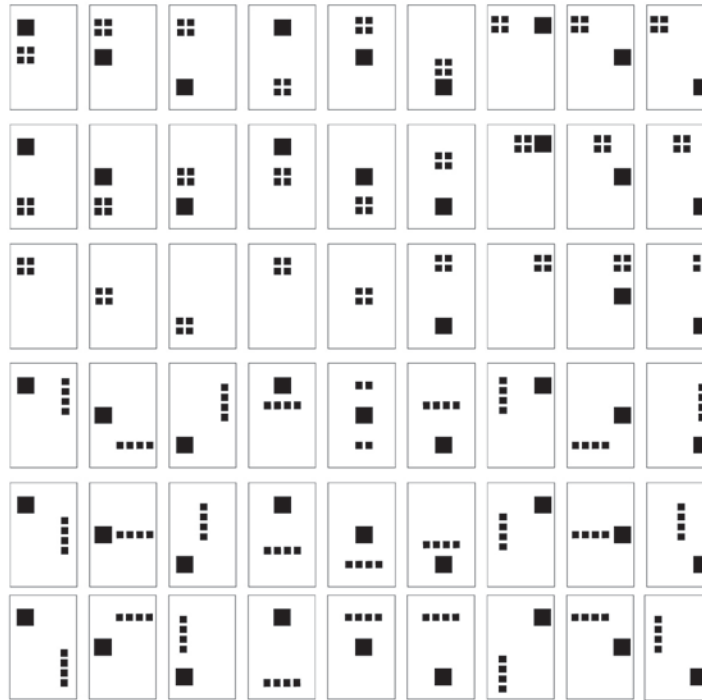


Figura 27. Tercera parte de la combinatoria mostrando composiciones para un botón de encendido del sistema y 4 botones secundarios.

6.5.2 Síntesis

Para la selección de la propuesta final se discriminaron las combinaciones generadas tomando en cuenta los requisitos establecidos en el capítulo anterior, y de acuerdo con ellos, considerando también una serie de criterios sintácticos, semánticos y estéticos.

Los criterios sintácticos que se valoraron fueron los siguientes: simplicidad, claridad de visualización, ergonomía. Los criterios semánticos valorados fueron los siguientes: jerarquía, distinción de funciones, claridad de lectura. Los criterios estéticos valorados fueron los siguientes: simplicidad, capacidad de combinación cromática, capacidad de integración visual con el entorno, capacidad de incorporación de colores y texturas.

La discriminación de las posibilidades generadas en la combinatoria de formas permitió preseleccionar 3 arreglos de botones. A partir de ellos se realizó una serie de bocetos a línea (Figuras 28 y 29 a 32), en este caso considerando ya no solamente el panel principal, sino las diferentes placas para los dispositivos secundarios. La serie de bocetos obtenida permitió aplicar los criterios de simplificación, alineación, consistencia, jerarquía, y tener una visión general del sistema.

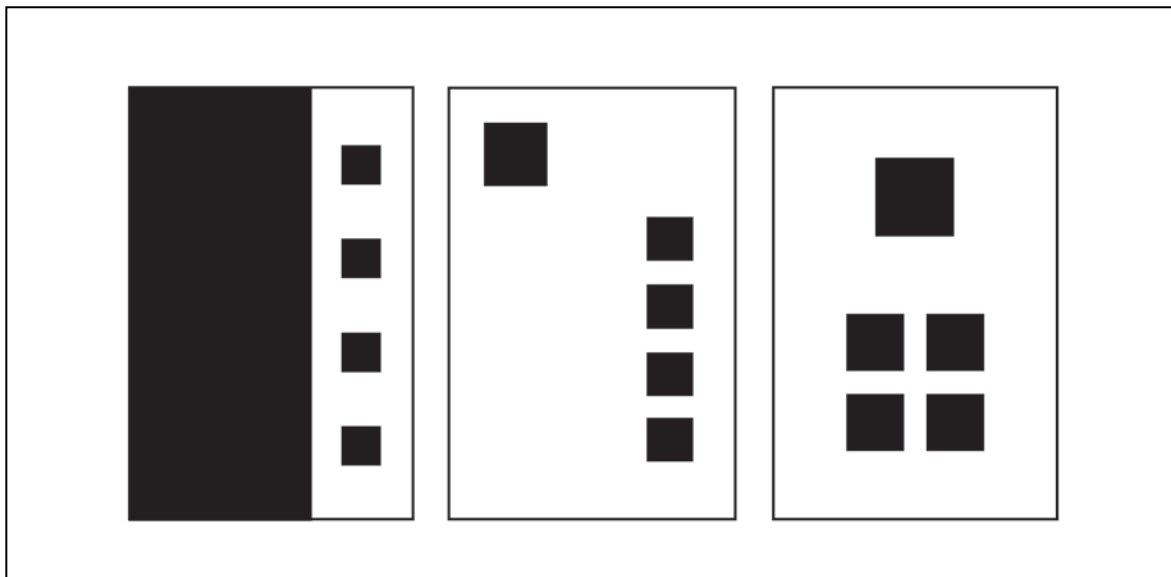


Figura 28. Arreglos de botón seleccionados a partir de la combinatoria.

Contando con esos bocetos se pudieron generar posteriormente modelos tridimensionales para cada panel principal (Figuras 33 a 36), con la finalidad de tener una vista más aproximada a la realidad desde diferentes perspectivas y probar diferentes materiales y acabados. De esta manera se pudieron anticipar problemas de operación y de fabricación y se pudo proceder a la segunda fase de selección, de la que finalmente se obtuvieron dos propuestas para llevarlas a un tercer y definitivo proceso de selección, del que se obtendría la propuesta final.

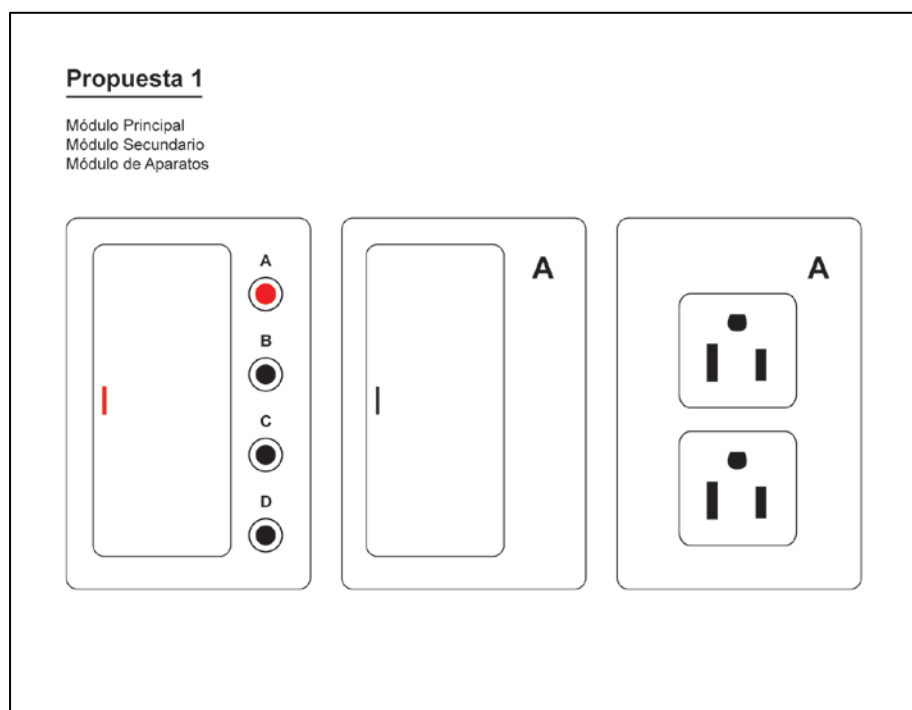


Figura 29. Propuesta 1 de placas del sistema.

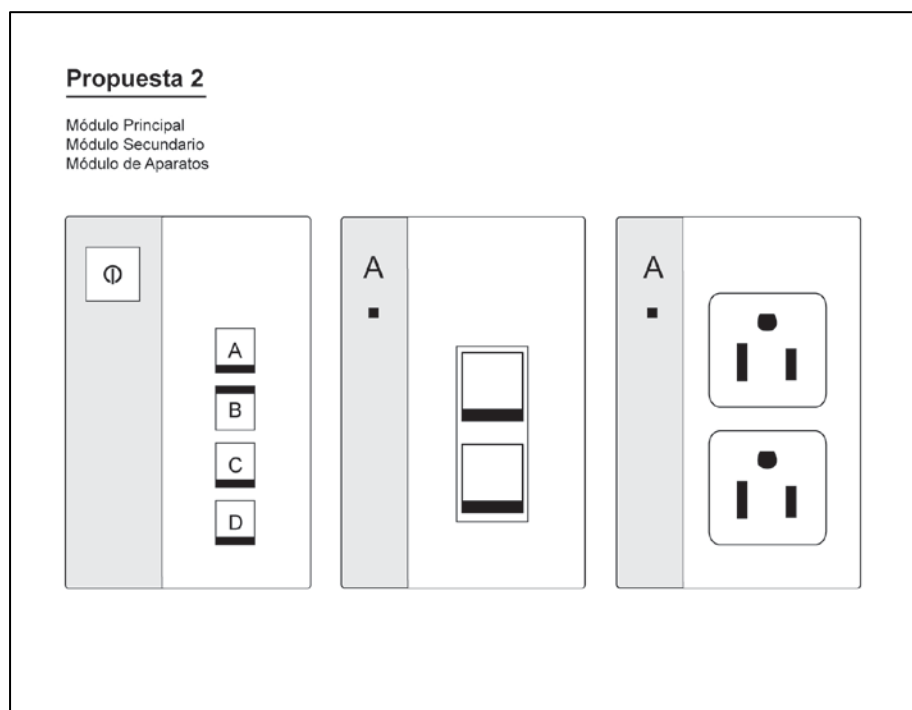


Figura 30. Propuesta 2 de placas del sistema.

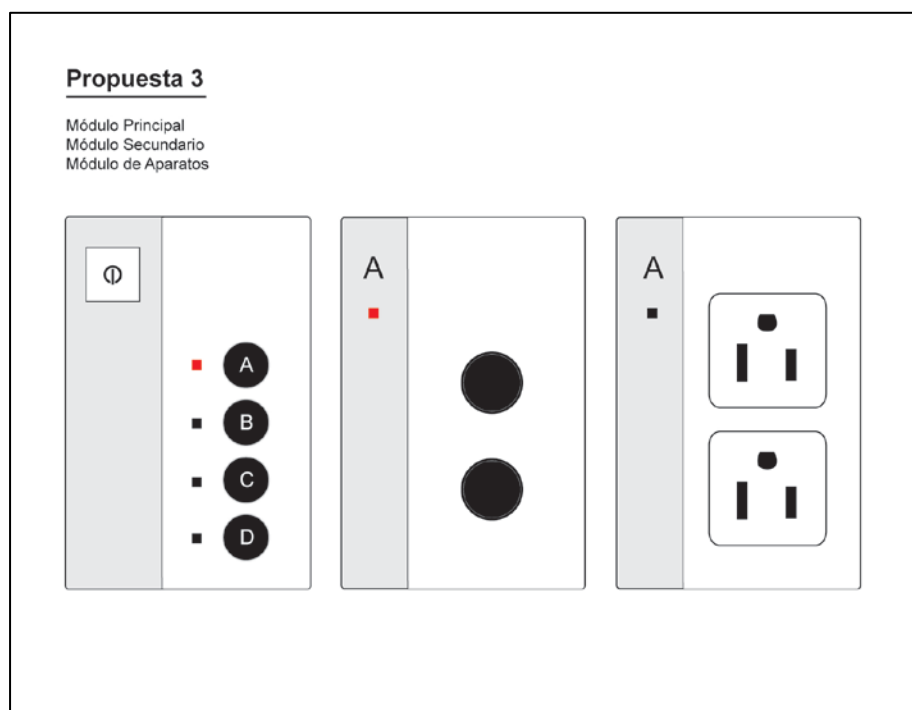


Figura 31. Propuesta 3 de placas del sistema.

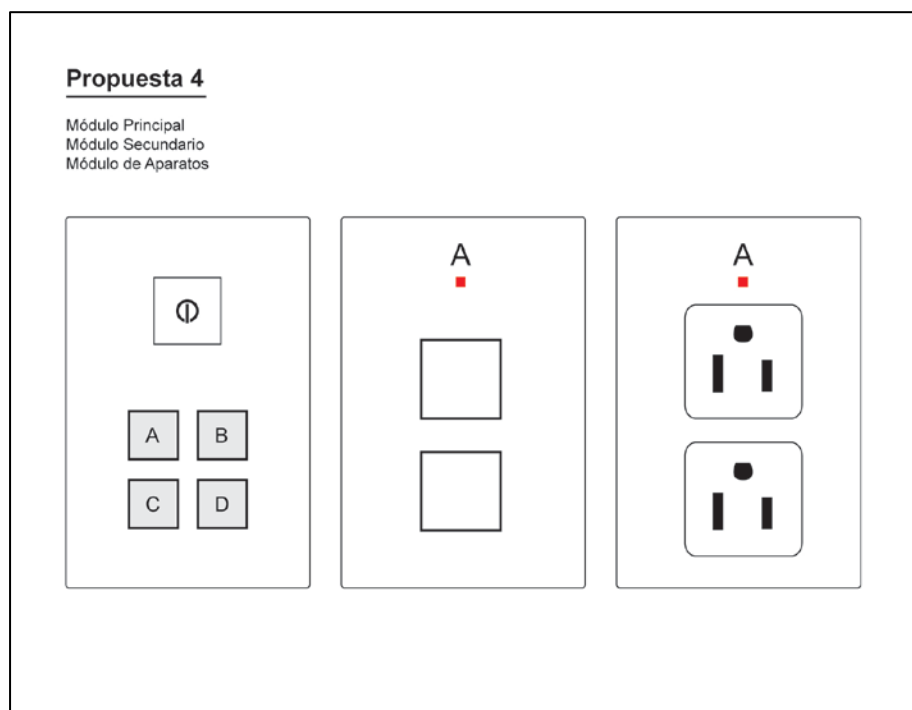


Figura 32. Propuesta 4 de placas del sistema.

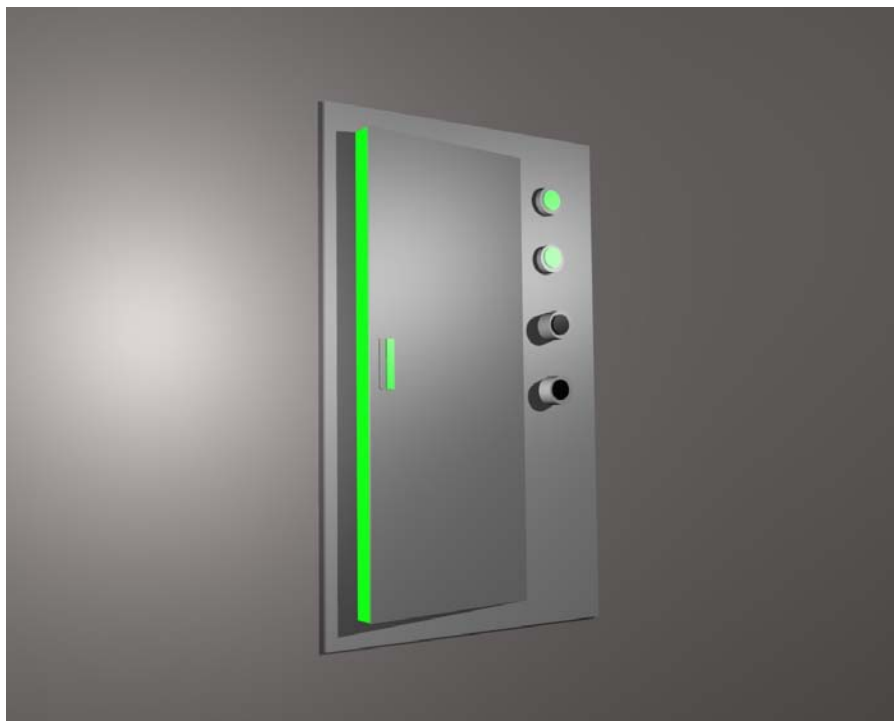


Figura 33. Renderización del modelo tridimensional correspondiente a la propuesta 1.

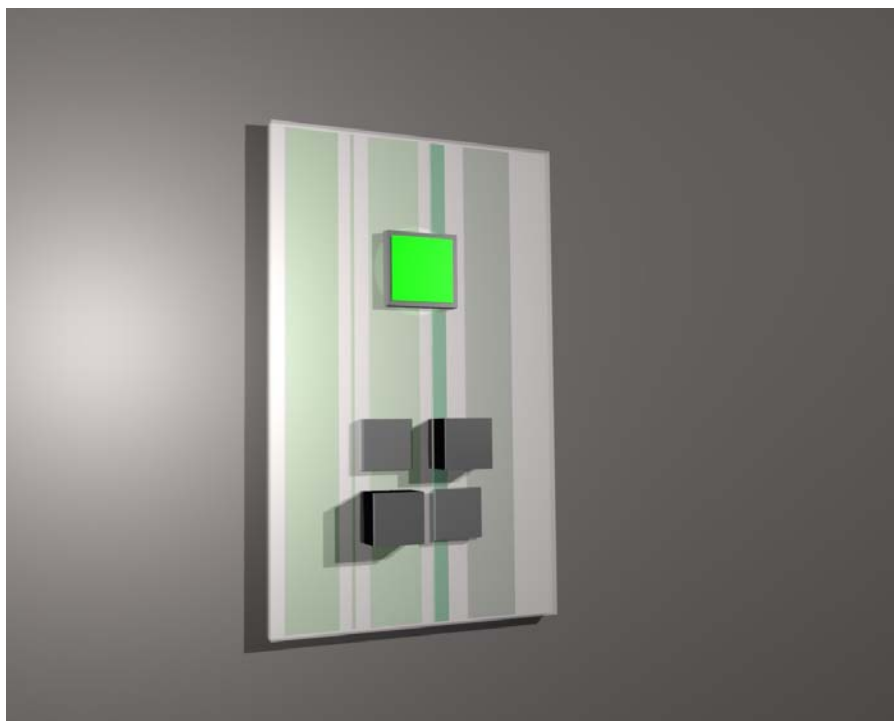


Figura 34. Renderización del modelo tridimensional correspondiente a la propuesta 4. Se simula una placa decorativa.

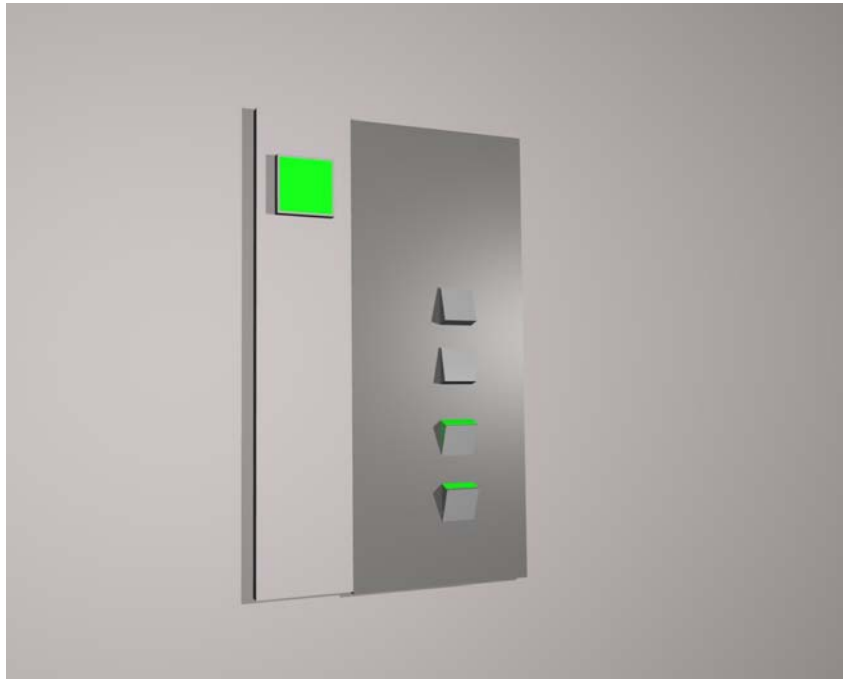


Figura 35. Renderización del modelo tridimensional de la propuesta 2.

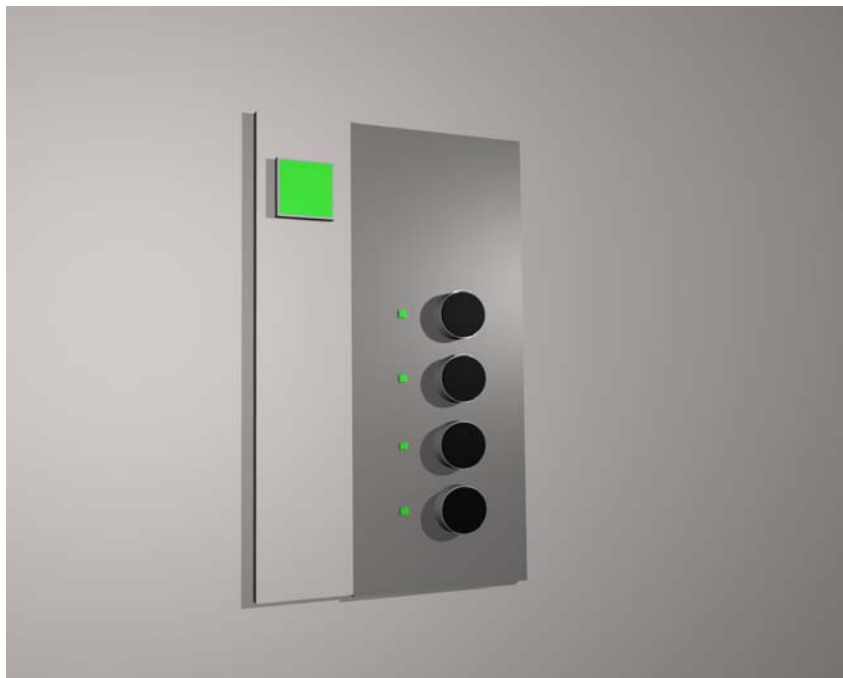


Figura 36. Renderización del modelo tridimensional de la propuesta 3.

Requisitos		Criterios de diseño aplicados a la síntesis
Expresivos simbólicos	<ul style="list-style-type: none"> • Simplicidad • Representación icónica • Consistencia • Restricción • Color 	<ul style="list-style-type: none"> • Navaja de Ockham: Lo más simple es lo mejor. • Esquemática de Joan Costa: nivel 3 de la Escala de Esquematzación Creciente.⁴⁵ • Se conservan los elementos formales y jerárquicos en todo el sistema. • Se reducen a mínimos los elementos operables e indicativos. • Se utiliza un número mínimo de colores en los indicadores, siguiendo criterio de convención.
Expresivos estéticos	<ul style="list-style-type: none"> • Simplicidad • Jerarquía • Alineación • Color 	<ul style="list-style-type: none"> • Buckminster Fuller: “hacer más con menos”. • Tres niveles distintos identificados por posición y signos. • La disposición de los elementos sigue el mínimo posible de ejes y conserva su ubicación en todo el sistema. • El color en la propuesta se mantiene solamente para los elementos indicativos. Sin embargo, se permite el uso de colores en la superficie principal de las placas para facilitar la armonización del sistema con el entorno.

Tabla 8. Criterios de diseño aplicados para dar respuesta a los requisitos expresivos simbólicos y estéticos.

Con base en los criterios de diseño mencionados en la Tabla 8 se hizo una segunda selección que permitió llegar a las dos propuestas finalistas, de las que se realizó un modelo tridimensional simulando un posible despiece de las placas para el Módulo Principal de cada propuesta (Figs. 37 y 38). Realizado lo cual pudo comenzarse la construcción de una maqueta que permitiera contar físicamente con el dispositivo a tamaño real, para poder aplicar el primer experimento que permitiría conocer la percepción del usuario final.

⁴⁵ Joan Costa, en su obra *La Esquemática* (1998) propone una Escala de Esquematzación Creciente, con valores del 1 al 7, donde el 1 significa el menor nivel de abstracción y por lo tanto el que menos requisitos de conocimiento previo impone al usuario; en tanto que el 7 implica el mayor nivel de complejidad y abstracción, demandando conocimientos muy específicos para la lectura. Se consideró adecuado el nivel 3, porque no implica conocimiento especializado y por la combinación de íconos y números permite al usuario una exploración de las funciones representadas, a través de la praxis.

Las maquetas se realizaron en lámina de estireno, cortándola, pegándola, pintándola y revistiéndola según las propuestas para lograr una apariencia similar a la deseada. Se incorporaron provisionalmente chapetones y botones de serie para probar el posible uso de componentes que no requirieran manufactura especial.

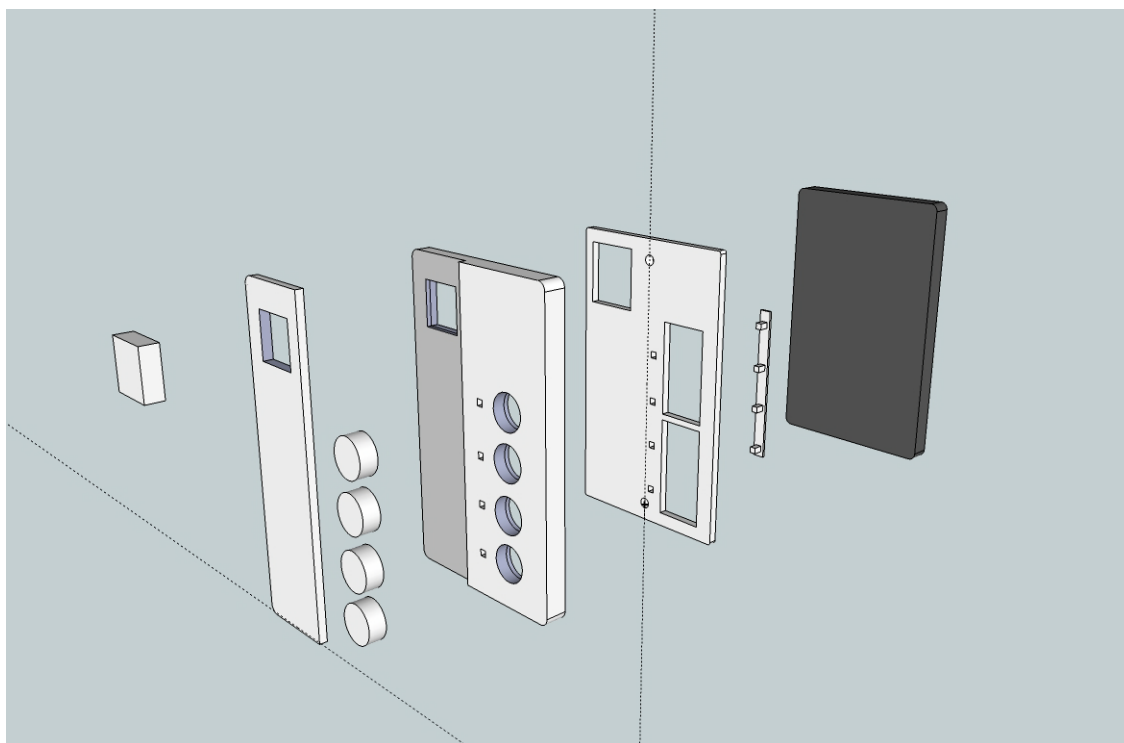


Figura 37. Despiece de la propuesta 3. Se realizó a partir de un modelo tridimensional virtual.

Dichas maquetas permitirían además, generar una mesa de simulación para probar más adelante, en el capítulo 7, la operación de los dispositivos por el usuario, para detectar posibles dificultades en la comprensión de las funciones y en el uso de los dispositivos.

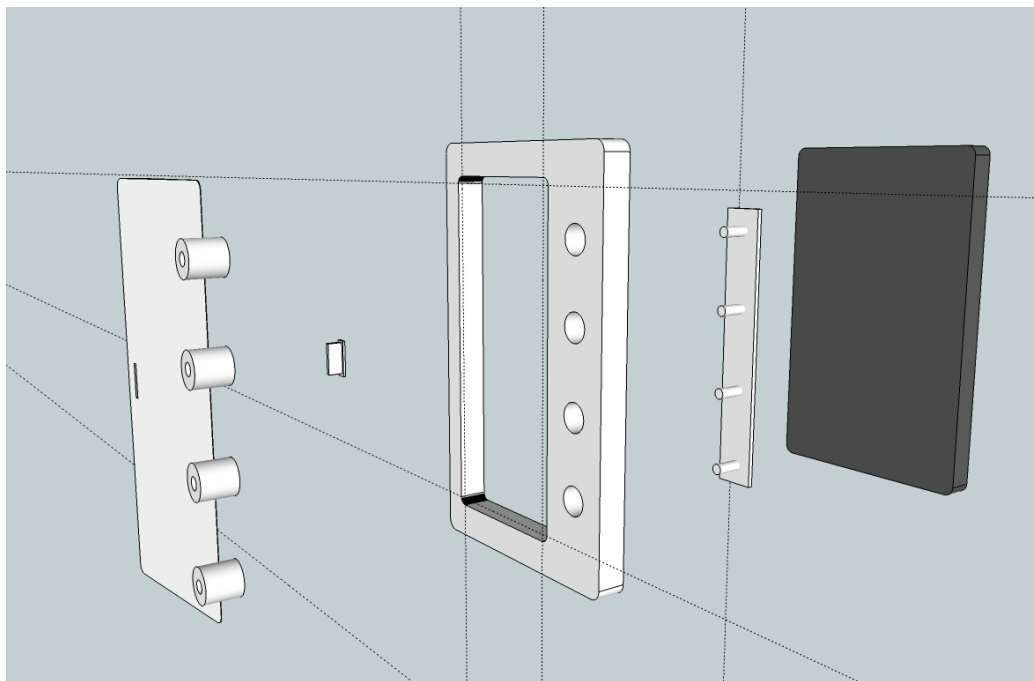


Figura 38. Despiece de la propuesta 1. Se realizó a partir de un modelo tridimensional virtual.



Figura 39. Fotografía de la primera maqueta física realizada para la propuesta 1.



Figura 40. Fotografía de la primera maqueta física realizada para la propuesta 3.

Obtenidas las maquetas (Figs. 39 y 40) se evaluaron ventajas y desventajas de cada diseño, para poder seleccionar la propuesta definitiva. Se consideraron aspectos como la cantidad de piezas requeridas, la sencillez o complejidad de su fabricación, así como el cumplimiento de los requisitos establecidos. Dicha evaluación se llevó a cabo en forma de análisis comparativo a través de una matriz de relación de características, otorgando un valor al mayor o menor cumplimiento de los requisitos (Tabla 9).

características		Propuesta 1		Propuesta 3	
Facilidad de operación		3		4	
Facilidad de lectura		4		5	
Tipo de dispositivos	puntuación	mecánicos	4	digitales	4
No. piezas	puntuación	14	3	8	5
Dificultad de fabricación		2		5	
Dificultad de adquisición de partes		3		3	
Aplicación de criterios sintácticos		4		5	
Aplicación de criterios semánticos		4		5	
Aplicación de criterios estéticos		4		5	
Totales		31		41	
5 = máximo valor; 1 = mínimo valor para la característica dada					
La puntuación mide qué tan deseable es cada característica desde el punto de vista del autor, tomando como referencia los requisitos fijados y los criterios de diseño propuestos.					

Tabla 9. Análisis comparativo de las propuestas de diseño.

De acuerdo con los resultados del análisis, se seleccionó la Propuesta 3 como el diseño definitivo. Se realizó entonces una segunda maqueta, cuidando mejor los detalles y terminados para poder hacer una primera exposición frente a público, hecho que tuvo lugar durante la exposición de avances de tesis del Posgrado en Diseño de la UAM Azcapotzalco, lo que permitió recabar comentarios de los investigadores invitados, en relación con el aspecto de la propuesta. Se obtuvieron opiniones que hacían referencia a que la maqueta parecía un diseño antiguo principalmente por el tipo de botones empleados, y se recibieron también numerosas expresiones del deseo de que el sistema incorporara pantallas táctiles, cuyo uso ha proliferado en los últimos años.

Al considerar este último punto, la incorporación de pantallas táctiles, se encontraron dos factores importantes que sugerían evitar su uso: el hecho de que para su funcionamiento requieren cierta cantidad de energía que mermaría parcialmente los ahorros energéticos buscados por el sistema; y su costo, pues a pesar de que la fabricación masiva lo ha reducido, incorporar las pantallas al sistema sí implicaría elevar de manera importante su costo, haciendo que el sistema se alejara de su mercado objetivo.

Sin embargo, encontrando beneficiosas las características estéticas de los dispositivos táctiles, así como la concordancia que su uso implicaba hacia los requisitos planteados, se procedió a la búsqueda de tecnologías y dispositivos que permitieran al usuario tener la sensación de operar una pantalla táctil, sin que de hecho se incorporase ese dispositivo.

Se decidió entonces sustituir los botones mecánicos por sensores digitales, lo que además tendría la ventaja de evitar la necesidad de fabricar piezas especiales sujetas a desgaste y fallo por el uso. Al mismo tiempo se lograría una apariencia más limpia y la posibilidad de atender directamente al requisito de acercarse estéticamente a los dispositivos electrónicos de alta gama actualmente vigentes.

Se localizaron proveedores de sensores de toque (*touch*) que permitieran al usuario tocar una superficie y tener una respuesta por parte del sistema. Al revisarse las especificaciones se comprobó que sería posible obtener los dispositivos requeridos y se procedió a la adquisición de muestras que permitieran probar el funcionamiento.

Para permitir la funcionalidad de los dispositivos se requirió del uso de microcontroladores digitales que se programaron específicamente para recibir señales

de los sensores de toque por parte del usuario, y ofrecer respuestas mediante el encendido de luces (LED⁴⁶).

Los microcontroladores seleccionados corresponden a una plataforma para el desarrollo de prototipos electrónicos denominada Arduino, cuyo uso y modificación son libres. Específicamente se seleccionó el modelo Duemilanove, pues su capacidad de conexión con computadoras a través de un puerto estándar USB la hacía ideal para realizar y transferir la programación de la computadora al microcontrolador sin hardware especial adicional.



Figura 41. Diodo LED de luz azul seleccionado para los indicadores visuales.

En la Tabla 10 se muestra la lógica de funcionamiento propuesta para el sistema. Una vez que se definieron las tecnologías a utilizar, se pudo enunciar la cadena de acciones y procesos necesarios para la operación y funcionamiento del sistema.

⁴⁶ Las siglas LED se traducen del inglés como Diodo Emisor de Luz, que es un tipo de lámparas de elevada luminancia y reducido consumo. Precisamente por esas características se seleccionaron para los indicadores del sistema.

	Acción del usuario	Proceso	Dispositivo Involucrado	Tecnologías
Módulo Principal	Toque	Acción física	Superficie de contacto	
		Transducción	Sensor	Switch capacitivo
		Entrada digital	Placa electrónica	
		Procesamiento	Microprocesador	Hardware: ATmega328
				Software: Arduino (JAVA/Processing)
		Salida digital	Placa electrónica	
		Transmisión	Línea	PWM
Módulo Secundario		Transmisión inalámbrica	Transceptor	XBee
		Recepción inalámbrica	Transceptor	XBee
		Recepción	Línea	PWM
		Entrada digital	Placa electrónica	
		Procesamiento	Microprocesador	Hardware: ATmega328
				Software: Arduino (JAVA/Processing)
		Salida digital	Placa electrónica	
		Activación o Desactivación de circuitos y/o aparatos	Switches y/o relevadores	

Tabla 10. Procesos y dispositivos involucrados en la operación del sistema. Los procesos mostrados ejemplifican el funcionamiento del sistema al mostrar la consecuencia del toque por el usuario de un sensor en el módulo principal.

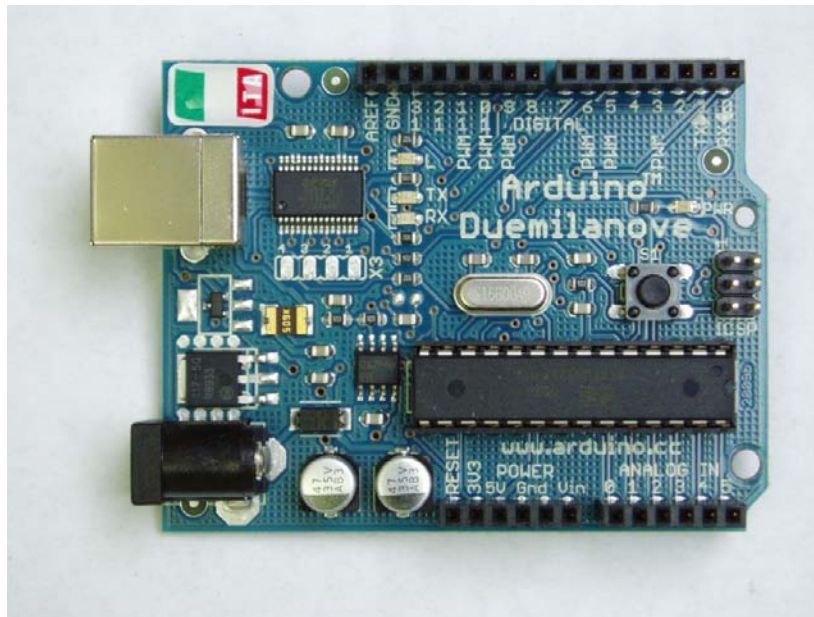


Figura 42. Microcontrolador Arduino Duemilanove.

Una vez obtenidas las muestras se construyó un prototipo electrónico que permitiera, al toque de un sensor encender un LED, y que al repetir el toque permitiera apagarlo.

Los dispositivos requeridos para recibir las indicaciones de los usuarios son sensores de toque de tipo capacitivo (Fig. 18). Dichos sensores se obtuvieron a través de un proveedor de robótica en Hong Kong.

Para agilizar las pruebas se decidió adquirir un bloque modular de conexiones que permitiera fácilmente conectar sensores y LEDs al microcontrolador de manera sencilla y rápida. El bloque seleccionado fue el Seeeduino Brick Chassis, que al estar fabricado para actuar como interfaz de conexión para microcontroladores tipo Arduino y contar con puertos digitales de entrada y salida con conectores estandarizados tipo Molex de tres posiciones, cubría completamente las necesidades mencionadas.

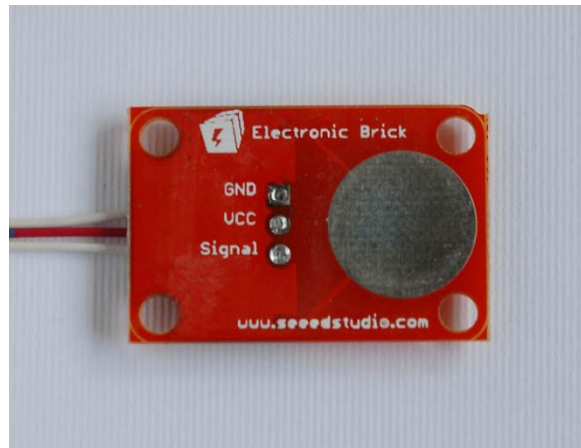


Figura 43. Sensor de toque de tipo capacitivo. En la fotografía se observa la superficie de toque, de forma circular.

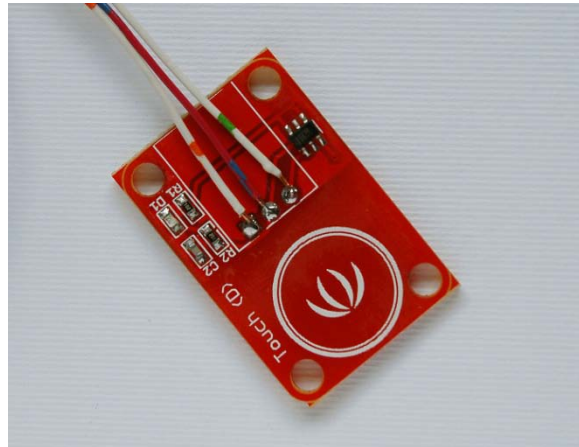


Figura 44. Reverso del sensor de toque. Los alambres soldados a la placa del sensor sustituyen al conector original.

Se hizo un programa para controlar dos LEDs mediante sendos sensores y se procedió a su compilación y transferencia al microcontrolador desde una computadora para posteriormente conectar sensores y LEDs mediante el Brick Chassis. Una vez conectado todo se procedió a probar el funcionamiento, y se obtuvo sin problemas el resultado esperado.

Se probó también la sensibilidad de los dispositivos de toque a través de una hoja de acrílico, de una pieza de vidrio y de una hoja de policarbonato, permitiendo ésta última

el mejor resultado, pues aunque los sensores funcionaron a través de los tres materiales, el vidrio presentó mayor posibilidad de fallo, con el inconveniente de tener un mayor peso. El acrílico permitió un uso adecuado pero su superficie resultó ser menos brillante y más susceptible a rayaduras, por lo que se decidió trabajar con el policarbonato, en este caso de la marca Lexan, ampliamente distribuida en México.

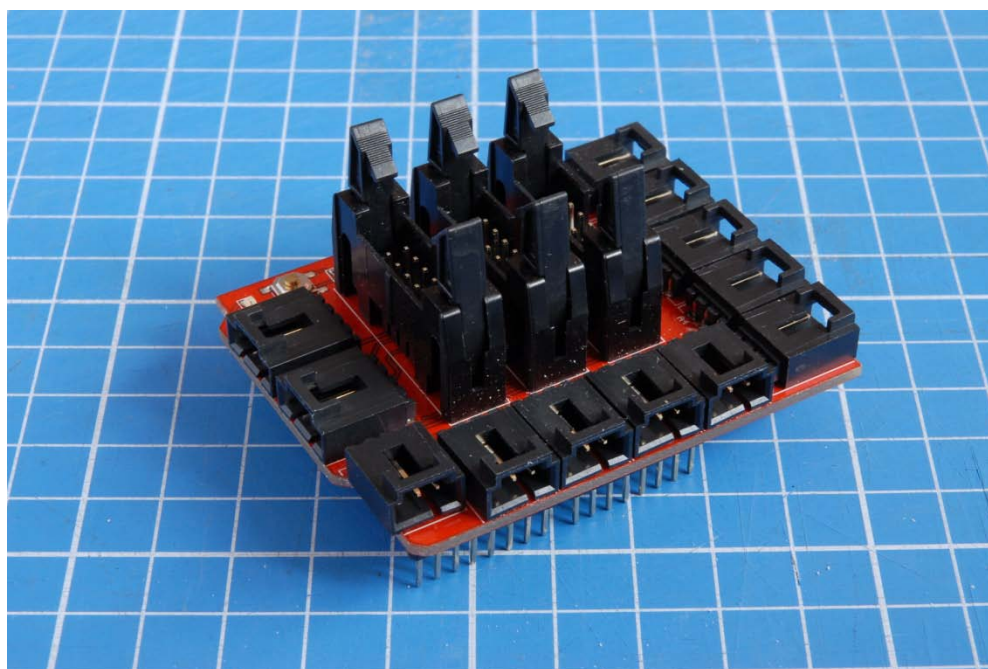


Figura 45. Seeeduino brick chassis. Bloque modular de interfaz para micro-controlador tipo Arduino.

6.5.3. Generación de modelo de pruebas

En un segundo momento se procedió a la realización de una Mesa de Simulación cuya intención era posibilitar la aplicación del experimento, en el cual se requería que el usuario final fuera expuesto al diseño seleccionado para corroborar que los elementos diseñados conjuntamente con el material explicativo permitirían la correcta operación del sistema.

Los sensores se adaptaron para el uso previsto eliminando sus conectores modulares y sustituyéndolos por conexión mediante soldadura directa sobre la placa de circuito de cada sensor (como se muestra en las Figs. 43 y 44).



Figura 46. Hoja de polycarbonato seleccionada para las placas de control.

Posteriormente se procedió a definir los comportamientos específicos requeridos para las pruebas, diseñando los circuitos y construyendo un prototipo del sistema. Se hizo la programación y se transfirió a los microcontroladores, se probaron y mejoraron los comportamientos de los diferentes componentes hasta que se logró el resultado deseado.

El sistema requirió del uso de dos microcontroladores Arduino, y del empleo de un par de tablas de pruebas, a las que se incorporaron los interruptores (switches) de prueba que representan a los sensores de toque; diferentes LEDs con sus respectivas resistencias; y las conexiones necesarias para obtener el funcionamiento jerárquico previsto.

La alimentación de corriente se podía realizar entonces por dos vías diferentes, a través de la conexión USB del primer microcontrolador, o bien a través de un adaptador de corriente conectado también al primer microcontrolador.

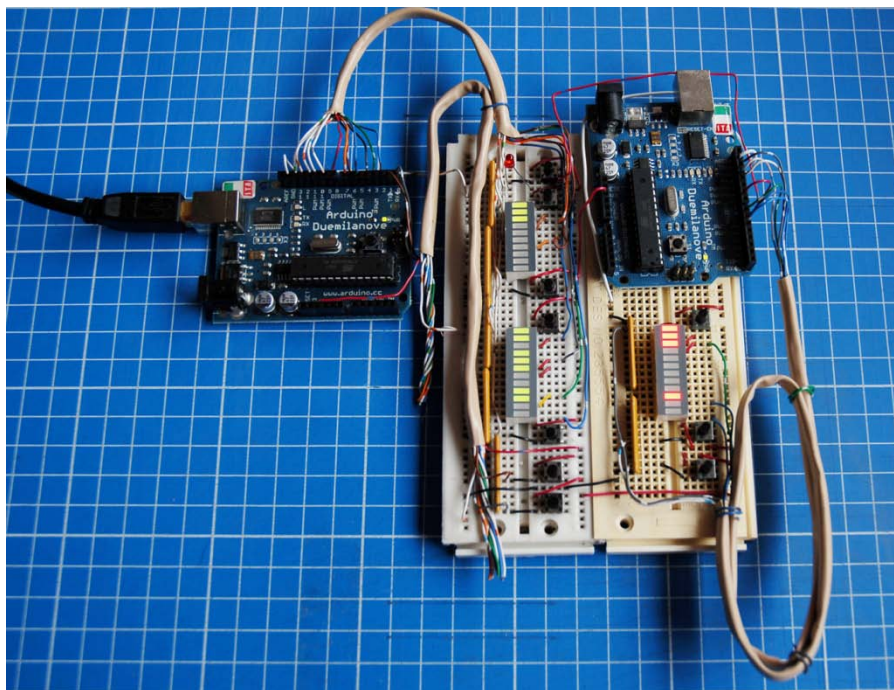


Figura 47. Circuito de pruebas que se empleó para verificar la lógica de funcionamiento, la programación y la electrónica para la mesa de simulación.

Una vez lista la electrónica principal se procedió a su montaje en un bastidor hecho con placa de poliestireno, cuya finalidad sería la de ocultar los componentes al usuario, y de recibir en su superficie superior las placas de control, permitiendo su operación a partir de la representación gráfica de una vivienda de dos habitaciones.

El diseño final de la placa del Módulo Principal y de un Módulo Secundario se realizó nuevamente en maqueta, para visualizar y demostrar su apariencia. Se decidió que deberían ser funcionales las nuevas maquetas, y que deberían aprovecharse para probar también la tecnología de comunicaciones inalámbrica, dado que la mesa de simulación ya usaba las comunicaciones mediante conexiones directas.

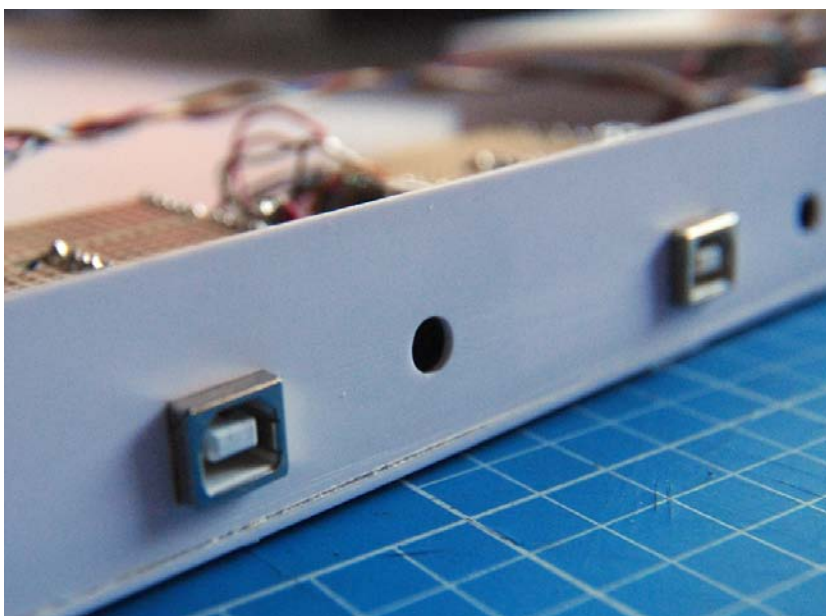


Figura 48. Una de las etapas constructivas de la mesa de simulación.

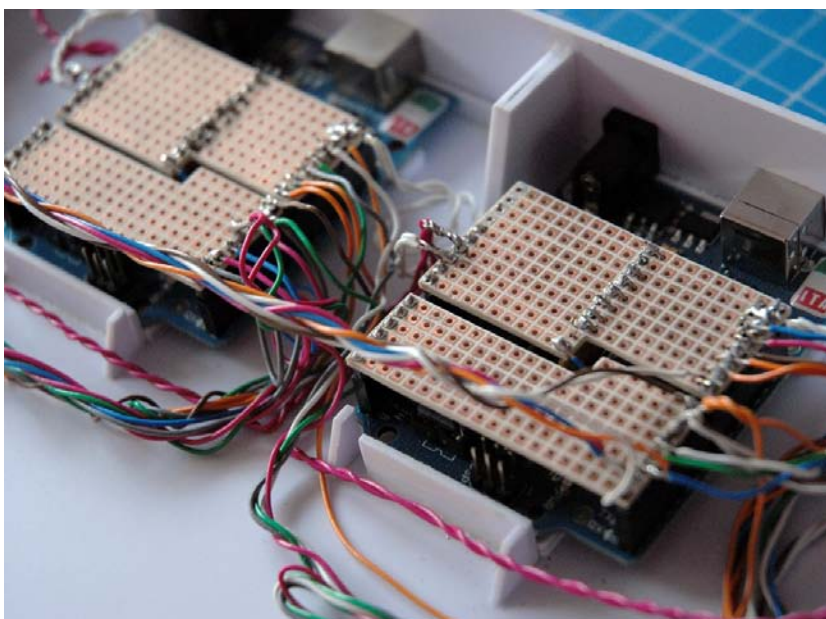


Figura 49. Una de las etapas constructivas de la mesa de simulación.

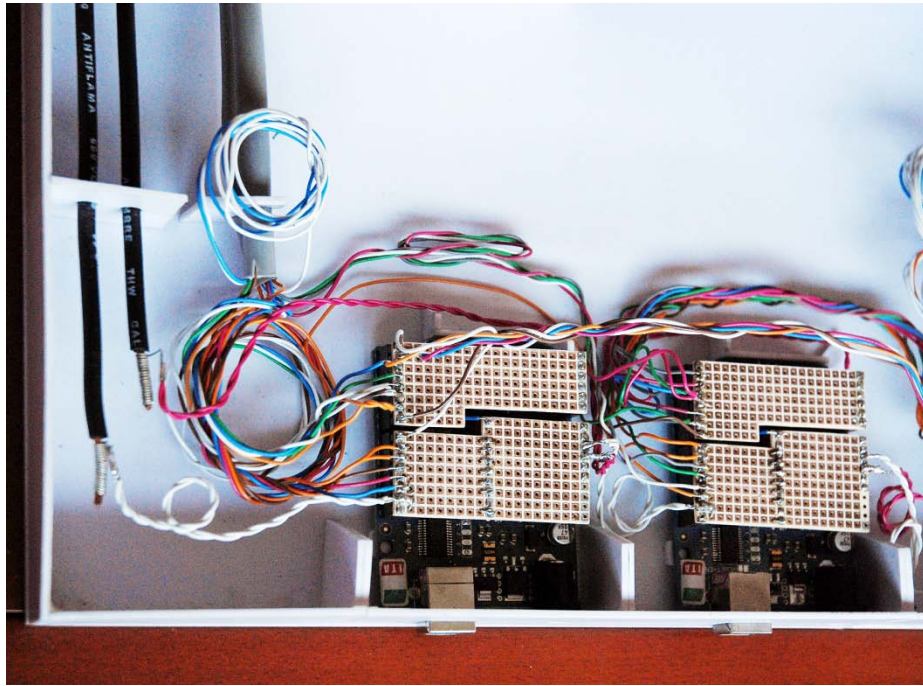


Figura 50. Una de las etapas constructivas de la mesa de simulación.



Figura 51. Una de las etapas constructivas de la mesa de simulación.

Con la finalidad de incorporar los dispositivos de comunicaciones más recientes (XBee S1 de la marca Digi) se decidió sustituir para la nueva maqueta los microcontroladores Duemilanove por microcontroladores Arduino UNO R3 (la más nueva versión actualmente disponible), por lo que se requirió también actualizar la programación.

La parte interior, la caja de dispositivos, no podía simularse exactamente en un prototipo completamente funcional, pues se trabajó con electrónica para desarrollo de prototipos y no con dispositivos fabricados ex-profeso para el sistema, mismos que por lo tanto ocupan un espacio mayor del realmente requerido. Solamente al planificar la primera producción de serie podría conocerse el diseño exacto, lo que se explicará más detalladamente en el capítulo 8. Al fabricarse la primera serie podría ya contarse con un prototipo funcional exacto, con los dispositivos finales y a tamaño real. Dicho prototipo constituye una fase posterior a los alcances de esta investigación.

En las siguientes páginas se muestran imágenes de los dispositivos empleados y de la Mesa de Simulación que se empleó en la realización de las pruebas con usuarios, mismas que se detallan en el capítulo 7, donde se describe la fase de experimentación.

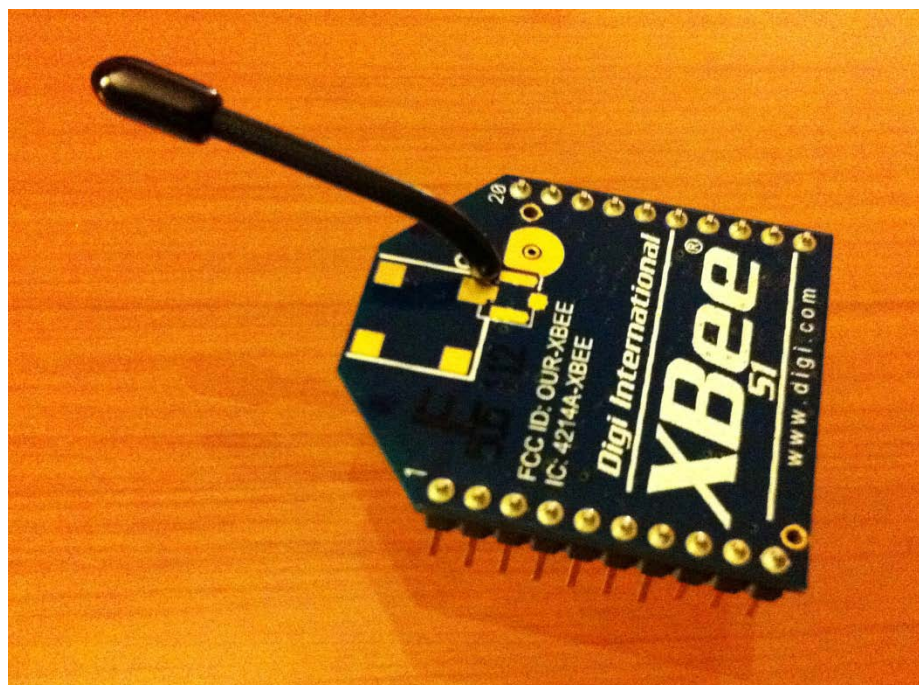


Figura 52. Dispositivo XBee como los que se incorporaron a la tercera serie de maquetas.

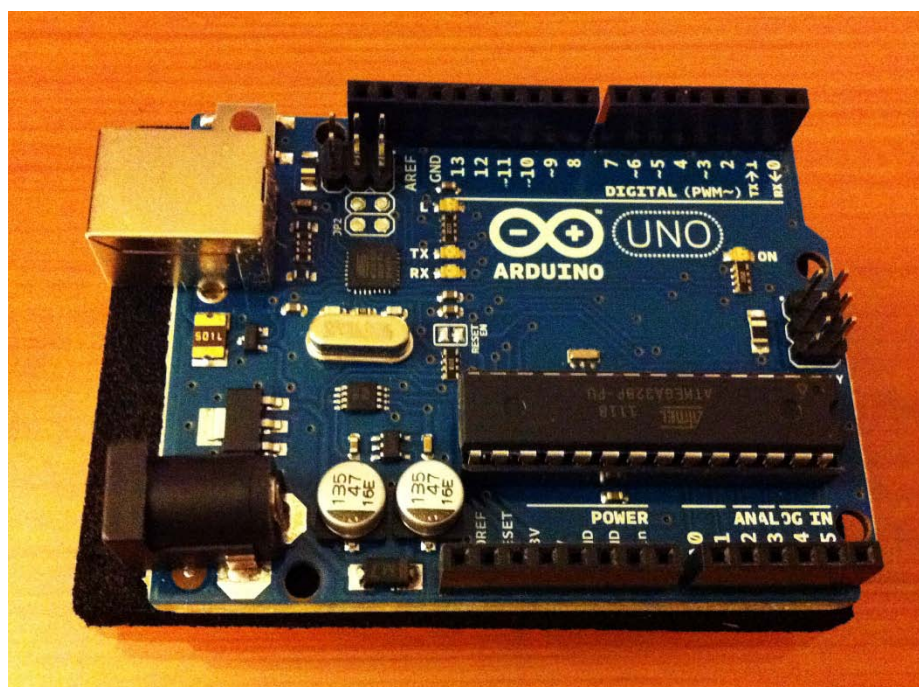


Figura 53. Microcontrolador Arduino UNO R3.



Figura 54. Placa del Módulo Principal. Tercera maqueta realizada, sensores funcionales.

CAPÍTULO 7

EXPERIMENTACIÓN

7.1. Diseño experimental

Para determinar las variables a evaluar en el experimento, se tomaron como base el problema de diseño y el problema de investigación, dado que a partir de ellos se establecieron los objetivos de la investigación.

Problema de investigación

La necesidad de contar con sistemas de ahorro eléctrico doméstico en el país, requiere de un estudio y análisis de diferentes factores, que posibiliten realizar una propuesta adecuada a las necesidades de la población urbana nacional. Dichos factores son principalmente el tecnológico, el energético y el de diseño.

A partir del problema de investigación se establece que los principales factores a medir deben ser la tecnología, la energía y el diseño.

Problema de diseño

Generar (diseñar) un sistema de ahorro de energía eléctrica, que basándose en la disminución del consumo de energía en espera permita el ahorro de energía eléctrica en el ámbito doméstico, y que atendiendo a principios de usabilidad, operabilidad, sintaxis y semántica, permita además del propio ahorro energético, su instalación y uso por usuarios no calificados, y posibilite su adecuada adaptación a las condiciones de habitabilidad en cuanto a confort visual y estético en el contexto de la vivienda media en México.

A partir de lo planteado en el problema de diseño se desprende que los aspectos de usabilidad, operabilidad, sintaxis, semántica y confort estético del sistema diseñado deberían ser medidos en relación con el usuario, convirtiéndose entonces en los factores de diseño a evaluar.

Una vez establecido lo anterior, se establecieron tres fases para medir los factores definidos a partir del problema de investigación. La primera fase se ha destinado a probar el principio de operación del sistema; la segunda fase a verificar que

efectivamente se produce un ahorro de energía al usar el sistema; y finalmente, la tercera fase se destinó a la evaluación de los factores de diseño: usabilidad, operabilidad, sintaxis, semántica y estética. A continuación se describen estas tres diferentes fases.

Fase 1. Observación directa del desempeño del sistema.

En el factor tecnológico deberá comprobarse si efectivamente el principio de operación permite la relación prevista entre los componentes del sistema. Dicha relación consiste en la posibilidad de ser encendido o apagado directamente cada uno de los componentes, y en la posibilidad de ser encendidos o apagados a distancia los componentes secundarios desde el panel principal.

Fase 2. Observación de la eficiencia del sistema.

En el factor energético deberá comprobarse si efectivamente existe una diferencia en el consumo de energía al usar el sistema en un circuito dado, con determinados aparatos conectados, frente al consumo del mismo circuito con los mismos aparatos pero sin usar el sistema diseñado. Ambas mediciones deben realizarse durante tiempos iguales.

Fase 3. Observación de la relación sistema - usuario.

En el factor de diseño, deberán considerarse las características ergonómicas, semióticas y estéticas, que posibiliten la apropiada operación del sistema por el usuario objetivo definido, al tiempo que se determine la tendencia general en cuanto a aceptación por el mismo usuario. La medición de la usabilidad posibilita la observación indirecta de las características ergonómicas y semióticas.

7.2. Definición de variables

- Encendido directo: activación de un circuito por la corriente eléctrica, como consecuencia de la operación de un interruptor por un usuario.
- Apagado directo: cese del paso de corriente eléctrica por un circuito como consecuencia de la operación de un interruptor por un usuario.
- Encendido a distancia: activación de un circuito por la corriente eléctrica, como consecuencia de una instrucción generada en otro circuito.
- Apagado a distancia: cese del paso de corriente eléctrica por un circuito como consecuencia de una instrucción generada en otro circuito.
- Consumo de energía: cantidad de energía eléctrica en una unidad de tiempo, medida en un punto específico de un circuito.
- Ergonomía: interacción entre el usuario y un objeto diseñado, atendiendo a la optimización del bienestar humano en relación con la actividad a realizar con el objeto. En este caso se consideran específicamente el confort de operación y la visibilidad de los indicadores y dispositivos de operación.
- Semiótica: estudio del signo y de los procesos sígnicos, en este caso se consideran particularmente los procesos de indicación y comunicación.
- Estética: se define aquí la estética como el conjunto de rasgos que resultan agradables al usuario por su mera apariencia sensible de tipo visual, formal o táctil.

7.3. Procedimientos de aplicación

FASE 1

Prueba 1. Principio de operación

Objetivo: Comprobar si activado el sistema existe comunicación entre el módulo principal y un módulo secundario.

Procedimiento:

- Accionar el interruptor principal (ON).
- Verificar si ocurre el encendido directo mediante la observación del indicador de estado correspondiente.
- Accionar un interruptor secundario (ON).
- Verificar si ocurre el encendido directo en el módulo principal mediante la observación del indicador de estado correspondiente. Verificar si ocurre el encendido a distancia, mediante la observación visual del módulo secundario.
- Accionar el interruptor principal (OFF).
- Verificar si ocurre el apagado a distancia mediante la observación visual del indicador de estado en el módulo secundario. Verificar si ocurre el apagado directo en el módulo principal mediante la observación de los indicadores de estado correspondientes.

FASE 2

Prueba 2. Ahorro energético

Activación del módulo principal en un contexto donde puedan tenerse diversos aparatos eléctricos que normalmente se dejen conectados en una vivienda, con la finalidad de comparar su consumo habitual con la lectura obtenida al usar el sistema.

Objetivo: Comprobar si existe diferencia en la energía consumida en presencia y ausencia del sistema.

Procedimiento:

- Medir con un wathorímetro el consumo normal de los aparatos seleccionados durante una unidad de tiempo.
- Instalar el sistema y comenzar su uso.
- Medir con un wathorímetro el consumo producido por los mismos aparatos durante la misma unidad de tiempo.

La unidad de tiempo debe ser breve, pues el tiempo actúa solamente como multiplicador constante, sin que haga variar la tasa de consumo o ahorro de energía. Se debe controlar que los aparatos conectados sean exactamente los mismos y se usen durante el mismo tiempo exacto.

FASE 3

En esta fase se buscará acercarse a sujetos de prueba que efectivamente queden dentro del grupo de usuarios potenciales, es decir, que cubran con un perfil acorde con el definido para esta investigación. Se seguirá la regla *Cinco participantes son suficientes* tal como recomiendan Lewis (1994) Nielsen & Landauer (1993) y Virzi (1992) en Tullis y Albert (2008). Dichos autores afirman que cuando se trata de ubicar problemas en la experiencia de los usuarios al probar objetos, normalmente los primeros 5 sujetos de prueba aportan todos los problemas importantes en el diseño en cuestión (Tullis y Albert, 2008). El tiempo de aplicación estimado es de 40 min.

Prueba 3. Verificación del perfil

Objetivos: Verificar que el potencial sujeto de prueba pertenece al perfil deseable.

Para facilitar la aceptación se ofrecerá el anonimato en las pruebas, por lo que se evitará solicitar datos personales más allá de los indicadores de comprobación del perfil.

Perfil deseable: De acuerdo con los objetivos de la investigación deberá comprobarse que los sujetos de prueba efectivamente residen en algún centro urbano de México, y pertenecen a alguno de los segmentos socioeconómicos C+, C, C- o D+. Se usan los reactivos recomendados por la Asociación Mexicana de Agencias de Investigación de Mercado y Opinión Pública, A.C. (AMAI) en su más reciente prueba publicada.⁴⁷

Procedimiento:

- Invitación al usuario, explicación de las partes de la prueba.
- En caso de aceptación, aplicación de cuestionario de perfil (que consistirá en 10 reactivos que permitirán controlar su edad, lugar de residencia y nivel socioeconómico).

Reactivos del cuestionario de verificación de perfil:

1. ¿Qué edad tiene?
2. ¿Cuál es su lugar de residencia?
3. ¿Cuántas habitaciones tiene su casa?
4. El piso de su casa ¿es de tierra, cemento o de otros materiales?
5. ¿Cuántos baños tiene su casa?
6. ¿Tiene regadera en casa?
7. ¿Tiene instalación de gas?
8. ¿Cuántos focos tiene su casa?
9. ¿Cuántos automóviles tiene usted?
10. ¿Cuál es su nivel máximo de estudios?

⁴⁷ La AMAI publicó en 2011 su nueva actualización para la prueba de detección del nivel socioeconómico, que se denomina Regla AMAI NSE 8x7 (AMAI, 2011). En dicha prueba, basta realizar ocho preguntas para poder determinar con base en una puntuación definida en la regla, el nivel socioeconómico de la persona entrevistada, de entre 7 niveles posibles. La regla 8x7 es la que se usó en esta investigación para determinar el nivel socioeconómico de los sujetos de prueba, agregando solamente las preguntas acerca de la edad y del lugar de residencia para un total de 10 reactivos.

Prueba 4. Factor de aceptación estética

Simulación del sistema en mesa de demostración.

Objetivo: Describir el nivel de aceptación del sistema por su apariencia.

Procedimiento:

- Presentación física de los módulos del sistema (integrados en la mesa de simulación).
- Aplicación de cuestionario con escala central tipo Likert, con dos valores positivos, dos valores negativos y posición central neutra. Constará de 4 reactivos que permitirán saber si la apariencia del sistema es agradable al sujeto, si lo preferiría por acabado a otros, si le parece que se vería bien en su lugar de residencia.

1. ¿Le gusta la apariencia de los aparatos?
2. ¿Piensa que se vería bien en su casa?
3. ¿Piensa que a su familia le agradaría tenerlo?
4. ¿Preferiría que tuviera una apariencia diferente?

Respuestas de la escala: Me gusta...

Mucho; algo; ni me gusta ni me disgusta; poco; nada

Para la valoración de las respuestas se asignarán los siguientes valores: “-2” y “-1” para las respuestas negativas, “0” para la respuesta neutral, “1” y “2” para las respuestas positivas, siendo deseable alcanzar el mayor número positivo posible.

Prueba 5. Factores de ergonomía y semiótica

Simulación del sistema en mesa de demostración.

Objetivo: Describir la usabilidad, ergonomía y semiótica a partir de conocer el nivel de desempeño del usuario en el manejo del sistema.

Procedimiento:

- Explicación de las partes y funciones de los módulos, relacionándolas con sus efectos en la mesa de demostración.
- Solicitud de operación del sistema al usuario, fijando objetivos predefinidos (realizar 2 operaciones diferentes).
- Observar el desempeño y valorarlo a partir de los Niveles de éxito.
- Dato complementario: observación del tiempo de ejecución. Aunque no es un indicador preciso, el tiempo que al usuario lleve realizar las dos operaciones solicitadas, si es breve denotará la claridad en cuanto a la forma de operar el sistema, en tanto que si es largo llevará implícita una cierta cantidad de duda en cuanto a la forma de operar el sistema. Es impreciso porque inciden en él la personalidad y seguridad del propio sujeto de prueba.

Niveles de éxito y sus respectivos valores numéricos asignados:

Éxito Completo	a. Sin ayuda	(2)
	b. Con ayuda	(1)
Éxito Parcial	a. Sin ayuda	(0)
	b. Con ayuda	(0)
Fallo	a. El participante pensó erróneamente que había logrado el objetivo	(-1)
	b. El participante se rindió sin lograr el objetivo	(-2)

Prueba 6. Factor de usabilidad

Obtención de información *ex-post facto*.

Objetivos: Conocer por expresión propia del usuario los niveles de facilidad y claridad de operación; apreciación del sistema y grado de confianza después de su uso.

Procedimiento:

Aplicación del cuestionario *System Usability Scale* (SUS) desarrollado por John Brooke (1996) con escala continua Likert:

Valores que pueden ser asignados por el usuario a cada uno de los reactivos del cuestionario: Completo desacuerdo (1) – Completo acuerdo (5).

Cuestionario SUS:

1. Me gustaría usar frecuentemente este sistema.
2. Encontré el sistema innecesariamente complicado.
3. Pienso que el sistema es fácil de usar.
4. Pienso que necesitaría ayuda técnica para usar el sistema.
5. Encontré bien integradas las funciones del sistema.
6. Pienso que el sistema es muy inconsistente.
7. Puedo imaginar que la mayor parte de la gente aprendería rápido a usarlo.
8. Encontré al sistema difícil de manejar.
9. Me sentí con mucha confianza al usar el sistema.
10. Necesitaría aprender muchas cosas antes de seguir con este sistema.

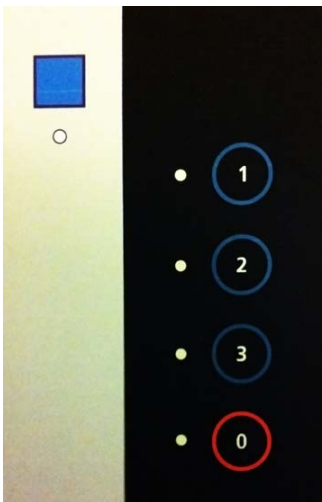
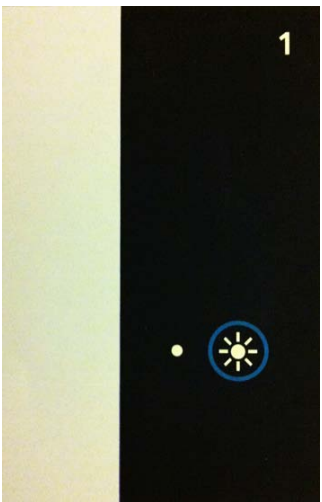

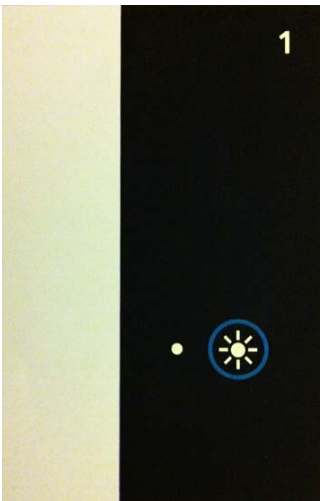
La puntuación deseable es el mayor número posible en los reactivos 1, 3, 5, 7 y 9, que se denominan Serie Positiva; y el menor número posible en los reactivos 2, 4, 6, 8 y 10, que se denominan Serie Negativa. En ambos casos el límite superior es 25 y el límite inferior es 5. De acuerdo con lo anterior, la mejor puntuación corresponde a 25 en la Serie Positiva y 5 en la Serie Negativa; en tanto que la peor puntuación corresponde a su inverso, 5 en la Serie positiva y 25 en la Serie Negativa.

7.4. Análisis de resultados

FASE 1

Resultados de la Prueba 1. Principio de operación

De acuerdo con el procedimiento antes descrito, se fueron realizando todos los pasos, que a continuación se presentan junto con el registro fotográfico del resultado en la Tabla 11. Resultados de la Prueba 1.

Acciones requeridas por el procedimiento.	Estado de la placa del Módulo Principal.	Estado de la placa del Módulo Secundario (No.1).
<ul style="list-style-type: none"> Sistema en estado apagado (OFF). 		
<ul style="list-style-type: none"> Accionar el interruptor principal (ON). Verificar si ocurre el encendido directo mediante la observación del indicador de estado correspondiente. <p>Resultado: Al presionar el botón principal de encendido (cuadrado azul) se verifica que ocurre el encendido directo en el interruptor principal.</p>		


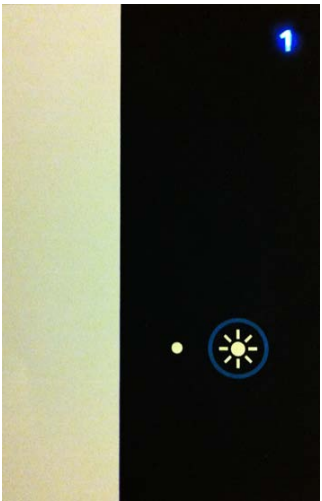

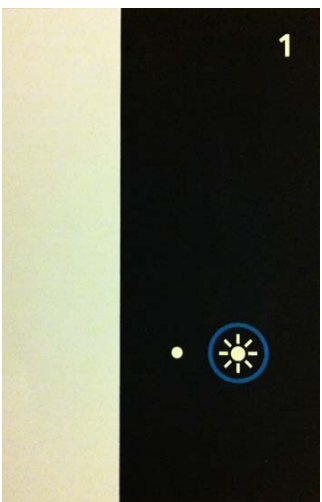
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Accionar un interruptor secundario (ON). ▪ Verificar si ocurre el encendido directo en el módulo principal mediante la observación del indicador de estado correspondiente. Verificar si ocurre el encendido a distancia, mediante la observación visual del módulo secundario. <p>Resultados: Al presionar el botón 1 se verifica el encendido directo en el módulo principal y el encendido a distancia en el módulo secundario mediante los indicadores visuales de estado (LEDs encendidos).</p>		
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Accionar el interruptor principal (OFF). ▪ Verificar si ocurre el apagado a distancia mediante la observación visual del indicador de estado en el módulo secundario. Verificar si ocurre el apagado directo en el módulo principal mediante la observación de los indicadores de estado correspondientes. <p>Resultados: Estando encendidos los indicadores de activación del circuito 1 en ambos módulos (fila anterior), se presiona el botón principal de encendido y se verifica que ocurre el apagado directo en el módulo principal. Se verifica que ocurre el apagado a distancia en el módulo secundario.</p>		

Tabla 11. Resultados de la Prueba 1.

De acuerdo con los resultados obtenidos puede decirse que el objetivo de la prueba, verificar si ocurre la comunicación entre los módulos para cortar o restablecer la corriente, efectivamente se cumple, por lo que puede decirse que se ha verificado la funcionalidad del principio de operación.

FASE 2

Resultados de la Prueba 2. Ahorro energético

De acuerdo con lo planteado anteriormente, se muestran a continuación los resultados del procedimiento establecido.

Los aparatos que se conectaron al watthorímetro fueron los siguientes:

- Televisión LCD 46"
- Reproductor de DVD
- Computadora portátil de 15" a través de su adaptador de corriente
- Impresora laser
- Cargador de teléfono celular

La conexión se realizó mediante una barra de contactos común, de 6 posiciones, con fusible de descarga e indicador luminoso de filamento.

La unidad de tiempo que se estableció fue de 24h, es decir, un día completo. Durante ese período se dejaron conectados los aparatos para tomar la lectura de consumo constante sin uso del conjunto de aparatos. Solamente la computadora se encendió una vez y se dejó que por su propio sistema operativo entrara automáticamente al modo de reposo como frecuentemente se hace en los hogares. De esta forma se obtuvo una lectura del consumo real de energía eléctrica en espera para el conjunto de aparatos seleccionados.

Para contrastar dicha lectura, se conectó el sistema a la corriente, y se conectó el mismo conjunto de aparatos durante 24h. El sistema se mantuvo en el estado

apagado completo, con lo que se pudo medir el consumo de energía en espera del propio sistema, sumado de alguna posible fuga de corriente hacia los aparatos, lo que permitió conocer el ahorro real en esta prueba. El consumo principal en esta lectura lo constituyen las propias fuentes de poder del sistema. En la Tabla 12 se pueden observar las dos lecturas obtenidas.

Acciones requeridas por el procedimiento.	Lecturas obtenidas con el waththorímetro.
<ul style="list-style-type: none"> Medir con un waththorímetro el consumo normal de los aparatos seleccionados durante la unidad de tiempo definida. <p>Resultados: El waththorímetro arrojó una lectura de 0.62 KWh acumulados en 24h, lo que constituye el consumo de energía eléctrica en espera del grupo de aparatos seleccionado durante ese período de tiempo.</p>	
<ul style="list-style-type: none"> Instalar el sistema y comenzar su uso. Medir con un waththorímetro el consumo producido por los mismos aparatos durante la misma unidad de tiempo. <p>Resultados: El waththorímetro arrojó una lectura de 0.09 KWh acumulados en 24h, lo que constituye el consumo de energía eléctrica en espera del grupo de aparatos seleccionado usando el sistema durante ese período de tiempo.</p>	

Tabla 12. Resultados de la Prueba 2.

De acuerdo con los resultados obtenidos, se puede comprobar que el ahorro real para el grupo de aparatos seleccionado es de 0.53 KWh en 24 horas. Por supuesto, se trata de un caso en condiciones ideales para hacer la comparación, dado que en condiciones reales se tienen períodos irregulares de uso para cada aparato, lo que implicaría que el ahorro sería acumulativo a través del tiempo que se use el sistema, y no continuo como en este caso de prueba. La proporción del ahorro variará, desde luego, dependiendo del consumo eléctrico y sobre todo de la dimensión de los períodos de espera, que son los momentos en los que actúa el sistema cortando la corriente. Sin embargo, para efectos de verificar el objetivo de esta prueba, comprobar que ocurre el ahorro, los resultados permiten afirmar que efectivamente ocurre al usar el sistema.

Resultados de la Prueba 3. Verificación del perfil

A los cinco sujetos de prueba, una vez obtenida su aceptación después de explicar los fines y fases de las pruebas, se les aplicó el cuestionario previsto para esta prueba, obteniendo la información del perfil que se muestra en la Tabla 13.

Reactivo	Sujeto 1	pts.	Sujeto 2	pts.	Sujeto 3	pts.	Sujeto 4	pts.	Sujeto 5	pts.
1. Edad	28		36		62		58		33	
2. Lugar	Tultitlán		Satélite		Iztacalco		Azcapotz.		Mixcoac	
3. Habitac.	6	8	8	14	6	8	5	8	5	8
4. Piso	Otros	11	Otros	11	Otros	11	Otros	11	Otros	11
5. Baños	2	36	3	36	2	36	1	16	1	16
6. Regadera	Sí	10	Sí	10	Sí	10	Sí	10	Sí	10
7. Gas	Sí	20	Sí	20	Sí	20	Sí	20	Sí	20
8. Focos	7	15	10	14	10	14	7	15	9	15
9. Coches	0	0	2	41	2	41	1	32	0	0
10. Educación	Lic.	52	Carrera Comercial	38	Lic.	52	Carrera Técnica	38	Lic.	52
NSE	C	152	C+	184	C+	192	C	150	C	132

Tabla 13. Resultados de la Prueba 3. La fila NSE designa al nivel socioeconómico según los puntos obtenidos, los puntos están asignados de acuerdo con la regla AMAI NSE 8x7 2011 (AMAI, 2011).

De acuerdo con los resultados obtenidos, los cinco sujetos de prueba pertenecen a uno de los niveles socioeconómicos que interesan a la investigación. En la Tabla 13 se comparan los puntajes obtenidos por los sujetos con los rangos de nivel socioeconómico propuestos por la AMAI.

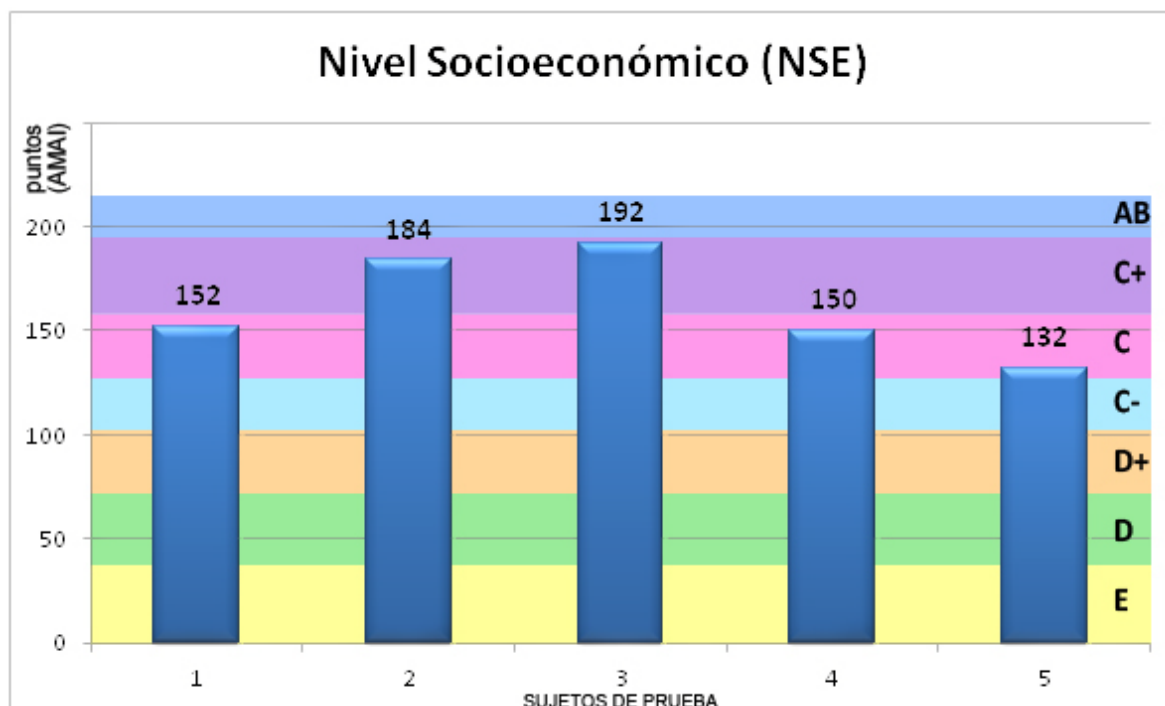


Figura 55. Nivel socioeconómico (NSE) de los cinco sujetos de prueba.

De acuerdo con los resultados expuestos, puede decirse que los cinco sujetos de prueba se encuentran dentro de los niveles socioeconómicos seleccionados. Así pues, el objetivo de la prueba se cumple.

Resultados de la Prueba 4. Factor de aceptación estética

De acuerdo con lo planteado para esta prueba, debía aplicarse nuevamente un cuestionario a los sujetos de prueba, en esta ocasión para recabar su opinión respecto de los factores expresivos estéticos.

La Tabla 14 muestra los resultados obtenidos, para cada pregunta existía la posibilidad de escoger una de cinco respuestas, cada una con un valor asignado en puntos. Se trataba de obtener la mayor puntuación posible.

Pregunta	Sujeto 1	Sujeto 2	Sujeto 3	Sujeto 4	Sujeto 5
1. ¿Le gusta la apariencia de los aparatos?	2	2	2	1	2
2. ¿Piensa que se vería bien en su casa?	2	2	2	2	2
3. ¿Piensa que a su familia le agradaría tenerlo?	2	1	2	2	2
4. ¿Preferiría que tuviera una apariencia diferente?	2	1	2	2	2
Totales	8	6	8	7	8

Tabla 14. Resultados de la Prueba 4.

Respuestas del cuestionario y puntajes asignados:

Me gusta...

Mucho2
 Algo1
 Ni me gusta ni me disgusta0
 Poco-1
 Nada-2

Para la pregunta 4 se aplicaron los valores de forma inversa para evitar inducir a error.

En la figura 56 se aprecia el resultado de la Prueba 4, haciendo evidente un elevado grado de aceptación estética por parte de los sujetos de prueba, dado que del valor máximo posible de 40 puntos se obtuvo un total de 37.

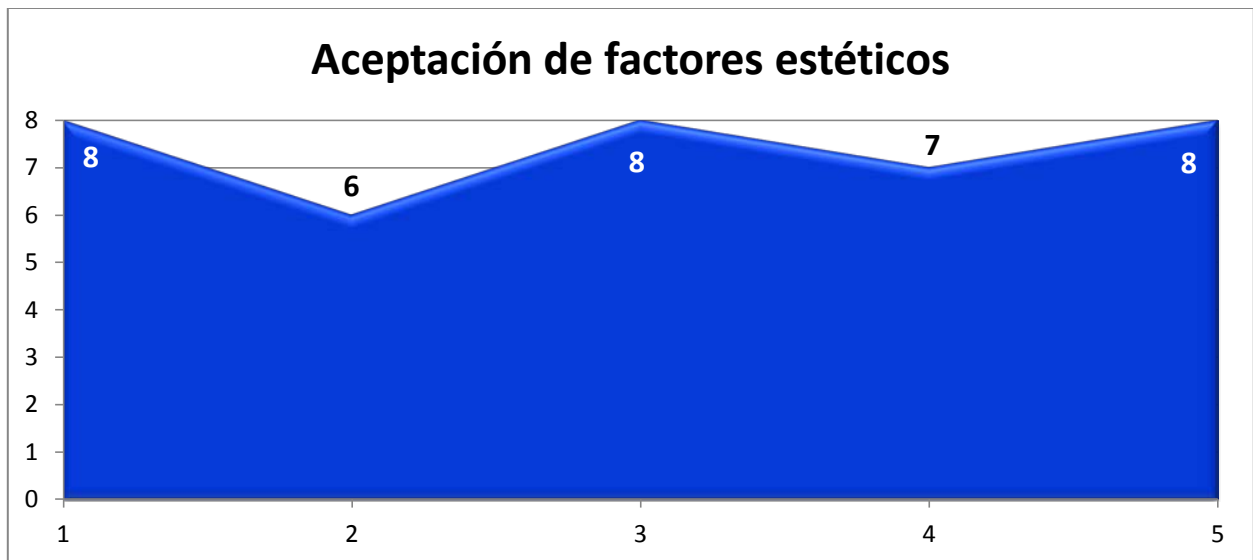


Figura 56. Gráfica de la Aceptación de factores expresivos estéticos.

A los dos sujetos que no otorgaron la puntuación máxima se les preguntó de forma adicional qué le modificarían al sistema, mencionando uno de ellos que preferiría un color diferente, y el otro destacando que aunque le satisface personalmente el sistema, piensa que a su familia le gustaría “algo que parezca menos sofisticado”, algo “más rústico”.

En relación con los comentarios obtenidos, la variación de colores está prevista mediante el uso de una membrana o impresión de diferente color, por lo que quedaría cubierta la objeción mencionada. Por lo que se refiere a una apariencia más rústica, tendría que trabajarse a futuro la posibilidad de incorporar membranas con impresión de texturas y acabados diferentes, siendo la única observación que de momento no puede ser atendida.

Con lo expuesto queda descrita entonces la opinión de los sujetos de prueba en cuanto a los factores expresivos estéticos del sistema se refiere, cumpliéndose el objetivo de la prueba y quedando registrados los comentarios realizados.

Resultados de la Prueba 5. Factores de ergonomía y semiótica

Para esta prueba se decidió pedir a los sujetos de prueba, previa explicación y demostración del uso del sistema en la mesa de simulación, que ejecutaran dos acciones específicas, se describen a continuación:

Acción 1. Encender el sistema.

Accionar los botones necesarios para dar energía a un aparato conectado al tomacorriente del circuito 2.

Una vez encendido apagar el sistema completo.

Acción 2. Encender el sistema.

Accionar los botones necesarios para dar energía al tomacorriente de la cocina y al circuito 3.

Accionar los botones necesarios para apagar el sistema, dejando con energía al tomacorriente de la cocina.

De acuerdo con los valores asignados a los resultados en el planteamiento de la prueba, se procedió a calificar el desempeño de los sujetos de prueba al realizar las dos acciones solicitadas. La Tabla 15 muestra los resultados.

Sujeto de prueba	Acción 1	Acción 2
1	2	2
2	2	1
3	2	2
4	2	2
5	1	2
Totales	9 / 10	9 / 10

Tabla 15. Resultados de la Prueba 5.



Figura 57. Mesa de simulación empleada para probar el sistema y hacer las pruebas con usuarios.

Los resultados obtenidos permiten afirmar que el sistema cumple con los requisitos de ergonomía y semiótica marcados, dado que solamente en dos ocasiones los sujetos de prueba requirieron ayuda para obtener el resultado buscado, ayuda que consistió simplemente en confirmar lo que los usuarios pensaban era requerido para lograrlo. En el resto de los casos los sujetos de prueba consiguieron el resultado solicitado sin ningún tipo de ayuda.

La figura 58 muestra gráficamente los resultados de la Prueba 5 para las dos acciones solicitadas. De acuerdo con los valores obtenidos, puede observarse que

ningún resultado ocupa el área negativa del gráfico, y en el área positiva solamente difieren del valor máximo los dos casos citados, cuyo puntaje fue de una unidad en cada ocasión, para un total de 18 de 20 puntos positivos posibles.

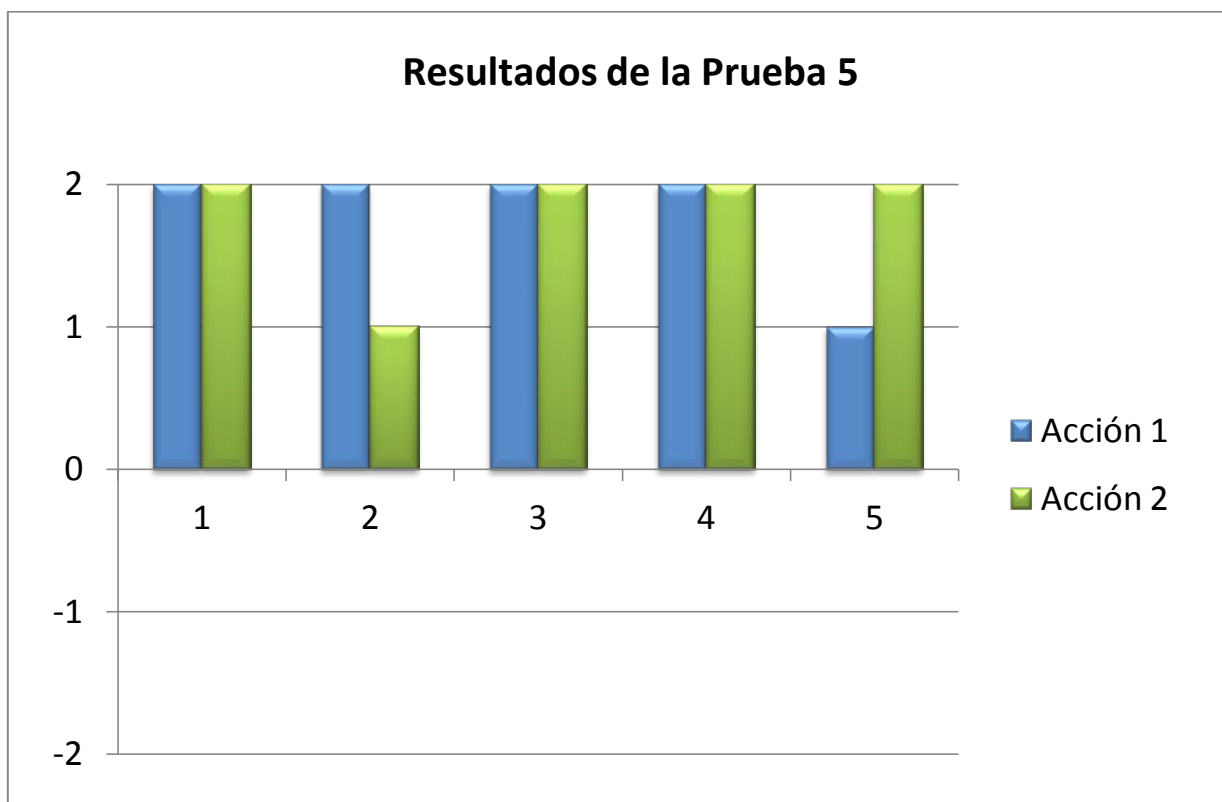


Figura 58. Resultados de la Prueba 5.

Resultados de la Prueba 6. Factor de usabilidad

Para la prueba de factor de usabilidad se aplicó el Cuestionario SUS, de acuerdo con el procedimiento descrito en el apartado anterior. Cada uno de los diez reactivos podía tener un valor de 1 a 5 como respuesta, siendo el 1 el valor de mayor desacuerdo con la afirmación propuesta, y el 5 el valor de mayor acuerdo. Los resultados obtenidos pueden verse reactivo por reactivo para los cinco sujetos de prueba en la Tabla 16.

Reactivos	Sujeto 1	Sujeto 2	Sujeto 3	Sujeto 4	Sujeto 5
1. Me gustaría usar frecuentemente este sistema.	5	5	5	5	5
2. Encontré el sistema innecesariamente complicado.	1	1	1	1	1
3. Pienso que el sistema es fácil de usar.	5	5	5	4	5
4. Pienso que necesitaría ayuda técnica para usar el sistema.	1	1	1	1	1
5. Encontré bien integradas las funciones del sistema.	5	5	5	5	5
6. Pienso que el sistema es muy inconsistente.	1	1	1	1	1
7. Puedo imaginar que la mayor parte de la gente aprendería rápido a usarlo.	5	5	5	5	5
8. Encontré al sistema difícil de manejar.	1	1	1	2	1
9. Me sentí con mucha confianza al usar el sistema.	5	5	5	5	5
10.Necesitaría aprender muchas cosas antes de seguir con este sistema.	1	1	1	1	1

Tabla 16. Resultados de la Prueba 6.

El cuestionario SUS presenta afirmaciones intercaladas positivas y negativas, por lo que en los reactivos 1, 3, 5, 7 y 9 se busca llegar a la mayor puntuación posible, en tanto que en los reactivos números 2, 4, 6, 8 y 10 se busca llegar a la menor puntuación posible.

Con el objeto de facilitar la visualización y análisis de los resultados obtenidos se realizó la gráfica que se observa en la figura 59, en la que se empleó un color diferente para cada una de las series de reactivos. Se muestran agrupados en lugar de intercalados con la finalidad de hacer más evidentes los resultados y propiciar la simplicidad de lectura en la comparación de resultados entre ambas series.

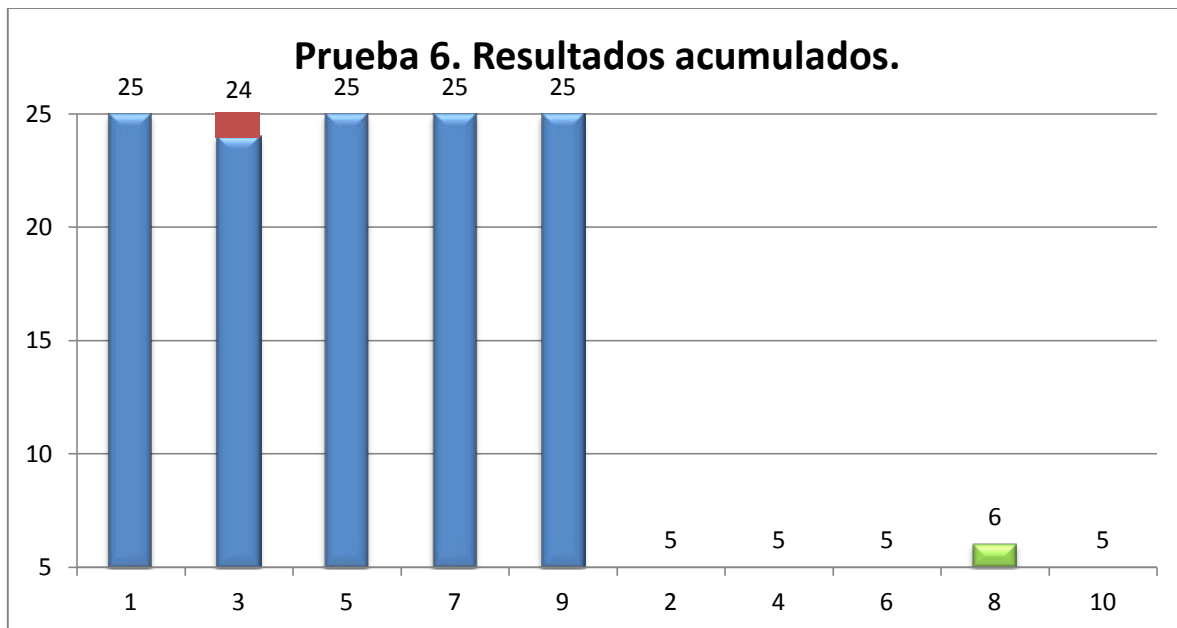


Figura 59. Resultados acumulados de la Prueba 6.

La primera serie de datos, reactivos nones en azul, muestra que los resultados obtenidos estuvieron muy cerca de ser los máximos. Se destaca en color rojo el único punto faltante de la serie, relacionado con el reactivo 3, denotando que para ese sujeto de prueba el sistema presentó una leve dificultad de uso, otorgando un valor de (4) en lugar del máximo ideal (5).

La segunda serie, reactivos pares en verde, muestra también que el único punto registrado que superó el valor ideal acumulado (5) fue el reactivo 8, relacionado con que el sujeto encontró cierta dificultad al operar el sistema, aunque fue el único caso y el valor otorgado (2) se mantuvo muy próximo al valor ideal (1).

Por todo lo expuesto y a pesar de los dos puntos descritos, se considera que el sistema cumple con los requisitos de usabilidad marcados.

CAPÍTULO 8

PROPUESTA FINAL

8.1 Nivel de diseño alcanzado

De acuerdo con los resultados obtenidos, el diseño propuesto se juzga adecuado a las necesidades de los usuarios objetivo, dado que todos los sujetos de prueba lograron realizar las acciones solicitadas, en dos casos con ayuda, pero sin demostrar ni expresar un verdadero problema relacionado con la claridad de los indicadores de estado, ni con la lectura ni identificación de los controles. Se expresó además que el diseño del sistema era del gusto de los sujetos de prueba y que sí les gustaría tener el sistema en casa.

Previamente a las pruebas con usuario se pudo comprobar el principio de operación, y las lecturas obtenidas con wattorímetro permitieron comprobar que al tener conectados aparatos se da un cierto consumo de energía en espera, mismo que no ocurre en la misma magnitud al tener conectado el sistema y encontrarse éste cortando la energía hacia los aparatos.

Todo ello permite entonces tener la seguridad de que la propuesta tanto tecnológica como de diseño es adecuada para los fines perseguidos. Sin embargo, no se cuenta todavía con el prototipo de serie, puesto que, como se explicó anteriormente, el diseño de las partes electrónicas y por lo tanto las dimensiones reales se obtendrían al momento de realizar la producción de los componentes, lo que va más allá de los alcances de esta investigación.

La propuesta gráfica de diseño, que junto con la interfaz sí se han probado, constituyen entonces la propuesta final de este trabajo. Los diferentes módulos del sistema se muestran en las figuras 60 y 61. La descripción de los elementos indicativos necesarios para la operación del sistema, también probados en la fase de experimentación, pueden observarse en las figuras 62 y 63.



Figura 60. Módulo principal y módulo secundario para control de luminarias.

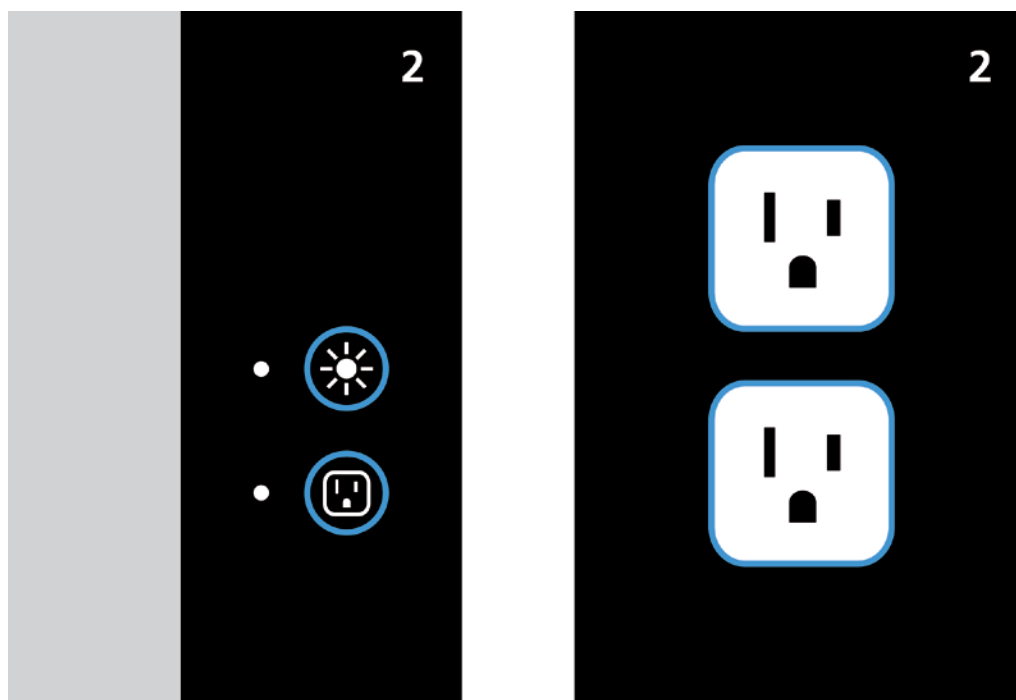


Figura 61. Módulo secundario para control combinado de luminarias y contactos, y módulo secundario para control de contactos

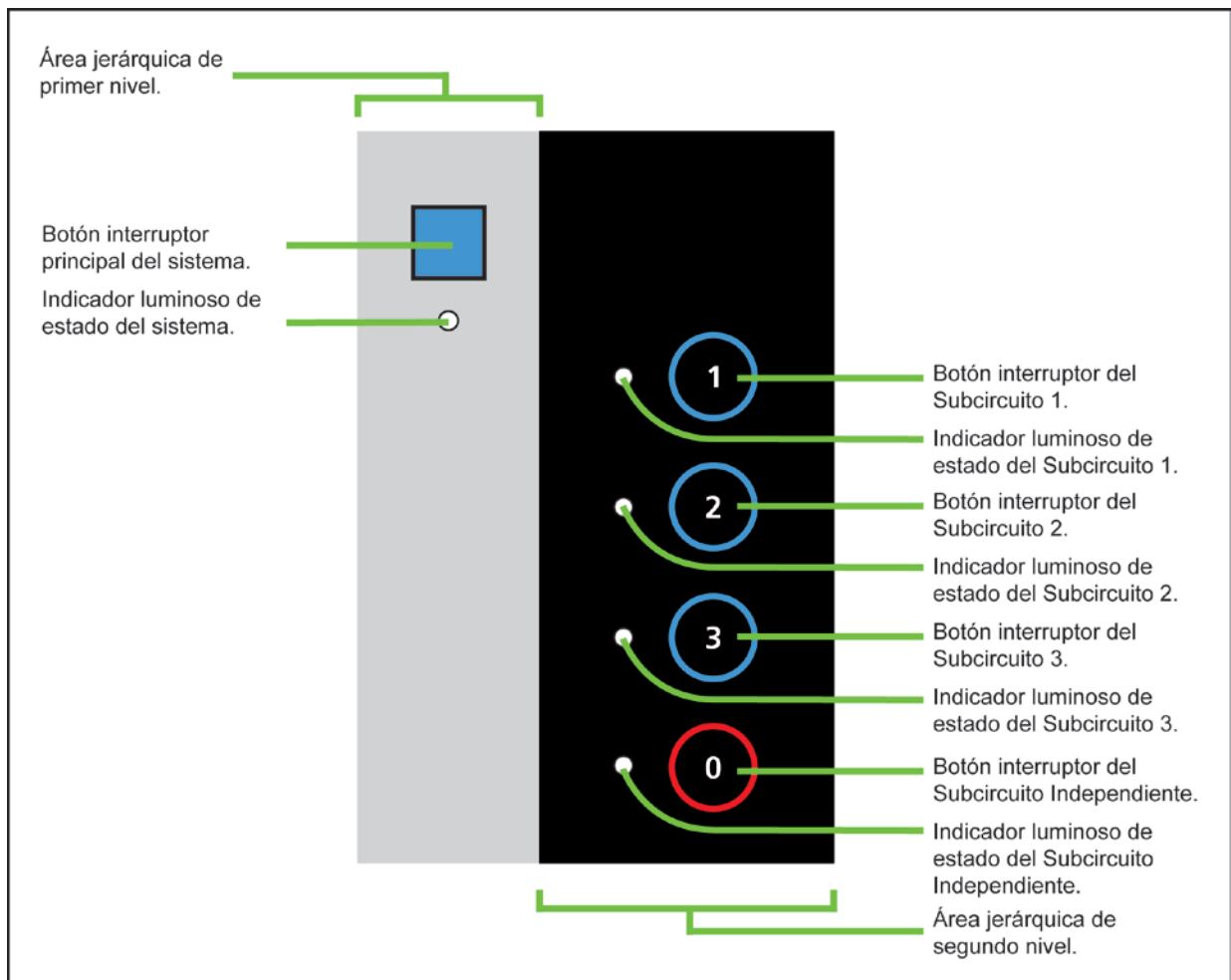


Figura 62. Elementos prácticos y expresivos para la operación del Módulo Principal.

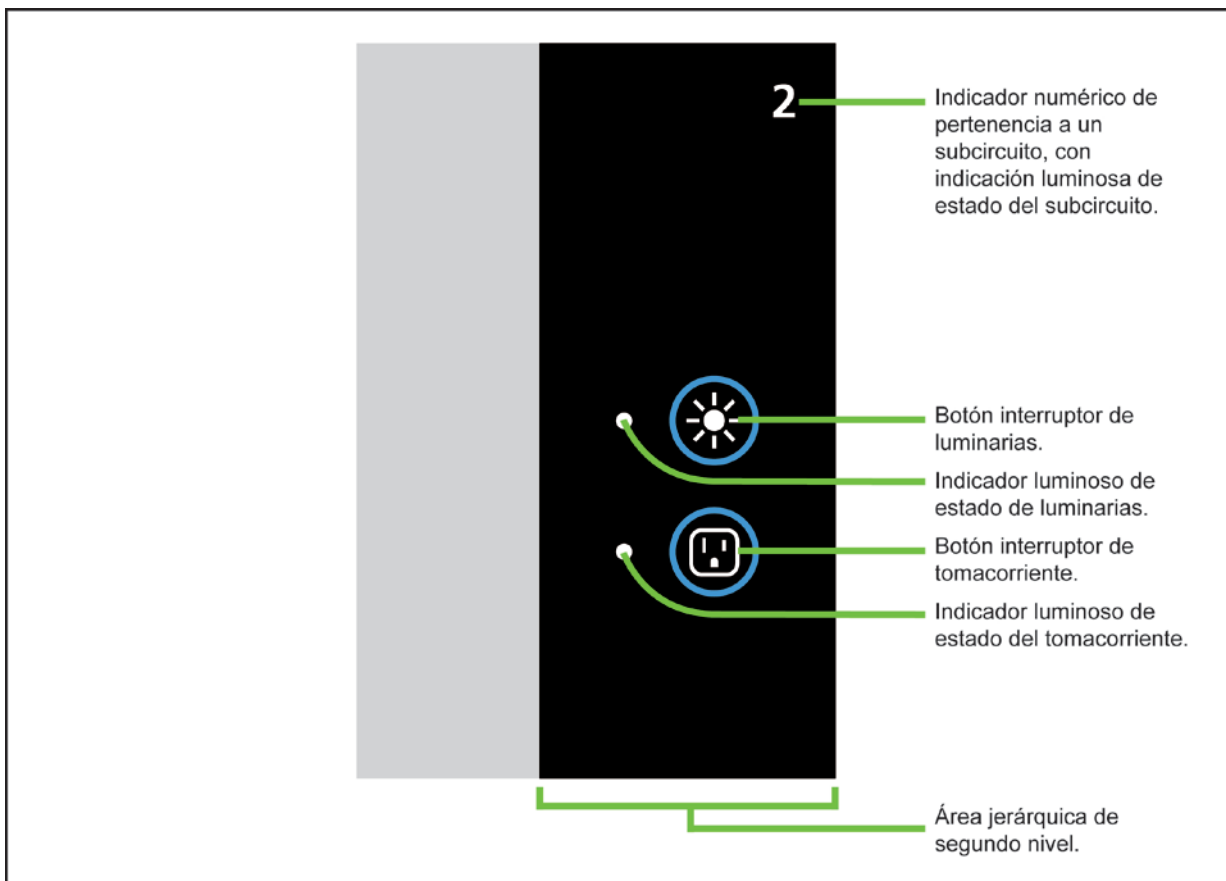


Figura 63. Elementos prácticos y expresivos para la operación de un Módulo Secundario.

Finalmente, se describirá ahora la propuesta de integración de las diferentes partes de los módulos. Los módulos están formados por cuatro componentes principales (figura 64): en primer lugar se tiene la Superficie de contacto, una placa de policarbonato que sirve de plano para recibir las indicaciones de toque con las que se operan los módulos; inmediatamente detrás se coloca la Membrana impresa, superficie que puede ser de material plástico o de papel y que tiene la representación de las áreas jerárquicas, de botones e íconos, así como los huecos o blancos que permiten el paso de la luz generada por los indicadores LED; posteriormente se tiene la Placa de soporte, pieza de plástico ignífugo cuya función es dar soporte a la electrónica, al mismo tiempo que recibe y fija la membrana y la superficie de contacto; finalmente, se tiene la cubierta posterior, una pieza también de plástico ignífugo cuya función principal consiste en aislar y proteger la electrónica dentro de la caja estándar en el muro, esta pieza se presenta con un diseño aproximado, pues se podrá especificar al momento de conocer las características definitivas de la electrónica, siendo sus dimensiones condicionadas a su colocación dentro de una caja eléctrica estándar.

El conjunto de las cuatro partes del módulo irá fijado a la caja eléctrica mediante dos tornillos estándar, mismos que fijan directamente la Placa de soporte con el material de la caja, atravesando completamente la Cubierta posterior. A su vez la Cubierta posterior está fijada a la Placa de soporte mediante seis grapas moldeadas en la misma pieza de la cubierta y que fijan a presión contra la Placa de soporte.

La Membrana queda aprisionada entre la Superficie de contacto y la Placa de soporte, mismas que se fijan mediante dos grapas centrales, una superior y otra inferior, moldeadas en la Placa de soporte y que encajan en los correspondientes huecos de la Superficie de contacto.

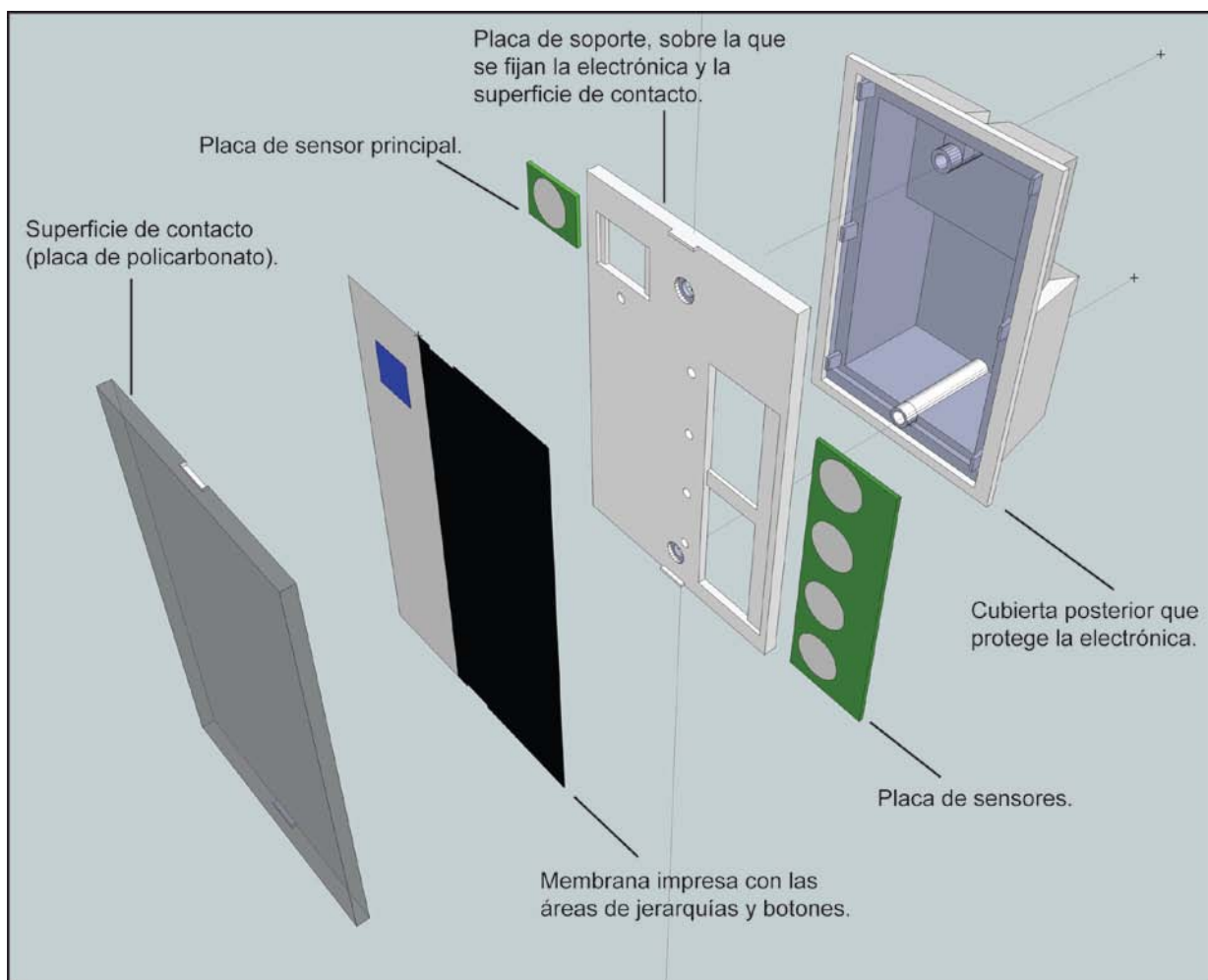


Figura 64. Despiece del módulo principal con la descripción de cada uno de sus componentes.

8.2 Trabajo subsecuente

A partir del diseño alcanzado, pueden previsualizarse las fases subsecuentes a realizar para poder obtener el beneficio real de la propuesta de investigación. En primer término debería trabajarse en el diseño de los componentes electrónicos definitivos, lo que requeriría ya una inversión que permitiera obtener los primeros ejemplares funcionales a tamaño real de la electrónica.

En ese momento podría ya realizarse el dimensionamiento final de todas las partes del sistema, adecuando el diseño industrial de las mismas para la producción. Estas dos fases permitirían a su vez obtener el costo total real dependiendo de la envergadura de la producción que se fuese a realizar, obteniendo los últimos datos necesarios para la elaboración de un plan de negocios que permitiera obtener la financiación necesaria por los actores interesados, para realizar la producción, distribución y aprovechamiento.

Cuando se lograra dicho aprovechamiento, la iniciativa que con este documento concluye su etapa primera, se vería entonces culminada exitosamente. Ello significaría que efectivamente se estaría logrando un ahorro significativo de energía a través de la participación de la población de niveles socioeconómicos hasta ahora excluidos o por lo menos desatendidos en cuanto a oferta de sistemas de ahorro energético. Se aprovecharía así un efecto multiplicador, al estar en disposición de llevar a las diferentes ciudades del país un sistema que permitiría al mayor grupo de población participar del ahorro de energía, consiguiendo entonces como consecuencia la disminución de las emisiones de gases contaminantes y de efecto invernadero, por reducción de la demanda.

Tales son las fases que en cuanto al aprovechamiento del sistema diseñado deberían realizarse para llevar a término la iniciativa.

Conclusiones

La problemática abordada por esta investigación relaciona directamente la existencia de tecnologías y de sistemas de automatización que permiten el ahorro de energía, particularmente eléctrica, con la inaccesibilidad que diferentes niveles socioeconómicos en México enfrentan dados sus elevados costos. A partir de que se identificó esa problemática, se formularon los supuestos de investigación, en los cuales se establecía como posibilidad deseable la realización de un sistema que, a partir del uso de tecnologías ya desarrolladas y cuyo costo no fuera elevado, permitiera a los niveles socioeconómicos medios el acceso y participación al ahorro de energía en el ámbito doméstico.

De esta forma, el primero de los supuestos afirma que, si el diseño parte de un principio de operación que no requiera el pago de tecnologías costosas, ni de la remodelación forzosa de los espacios donde se instale, ni implique el manejo de conocimientos especializados para su instalación y operación, se logrará un sistema cuyo costo lo pondrá al alcance de la población de nivel medio en México. Y esto constituye la meta final que debería alcanzar el producto de serie, si bien los alcances de esta investigación abarcan solamente el desarrollo del prototipo que permita anticipar esta meta desde una etapa anterior.

Al realizar el diseño de los dispositivos a incorporarse en los módulos se pensó en reducir los costos en la mayor proporción posible, la selección de tecnologías de libre modificación y desarrollo junto con elementos de bajo costo hace que, aunque todavía no se tiene el producto en su conformación definitiva, pueda preverse un rango de precio entre los \$3,500 y \$4,800 pesos, lo que efectivamente quedaría al alcance de los niveles socioeconómicos C+, C y C-, si bien no sería ya tan fácilmente accesible para el nivel D+, no queda en un rango imposible de alcanzar. Esto permite afirmar que el sistema desarrollado sí podría ser aprovechado por la población urbana de nivel medio en México. El diseño de los módulos permite que con un conocimiento básico de instalaciones eléctricas, o con la ayuda de una guía de instalación, gente no

especializada en el tema pudiera instalar y operar fácilmente el sistema. Por lo tanto, el primer supuesto de investigación se confirma con los resultados expuestos.

El segundo supuesto de investigación hace referencia al establecimiento de un proceso de comunicación con el usuario final, mediante el cual éste es capaz de instalar y usar el sistema de forma eficiente. Dada la circunstancia de contar con un prototipo funcional, pero que todavía no posee las características del producto de serie, se ha podido comprobar mediante la Prueba 5, medición de los factores de ergonomía y semiótica, y la Prueba 6, medición de los factores de usabilidad, que sí ocurre un proceso de comunicación e interacción adecuado hombre-máquina a nivel operativo. En dichas pruebas, los sujetos a quienes se pidió la realización de dos operaciones específicas lograron en su totalidad el objetivo, requiriendo solamente ayuda en dos ocasiones, ayuda que consistió en simplemente confirmar la acción necesaria para alcanzar el objetivo solicitado. Sin embargo, todavía no es posible comprobar los factores citados en cuanto a instalación del sistema se refiere, pues al no contar todavía con los dispositivos de serie, no han podido especificarse indicadores o materiales que permitan facilitarlo. Por anterior, este supuesto queda parcialmente confirmado, restando la comprobación de instalación para el momento en el que se cuente con el producto de serie.

Las mismas pruebas 5 y 6 permiten afirmar que la identificación de las funciones y la lectura del estado del sistema son claras para todos los usuarios. Si bien algunos de ellos deben poner un poco más de empeño que los demás, todos lograron operar el sistema exitosamente en un período de familiarización con los dispositivos no mayor a 15 minutos. Los resultados de la prueba 6 particularmente (factores de usabilidad), permiten afirmar que los usuarios se sentían seguros al operar el sistema, por lo que puede decirse que mantuvieron el locus de control en un nivel elevado, confirmando completamente el tercer supuesto de investigación.

Una reacción común al descender el nivel del locus de control consiste en el empleo de mayor tiempo para realizar las acciones solicitadas, lo que no se observó en las pruebas. Otro indicador frecuente es la solicitud de los sujetos de prueba de una confirmación por parte del instructor, de cada uno de los pasos a seguir, denotando entonces un alto nivel de inseguridad. Dicho indicador tampoco se observó en las pruebas, aunque sí se requirió confirmación en dos casos, para sendas acciones, nunca para la serie completa de acciones. De esta manera, los resultados obtenidos aunque no fueron perfectos, sí demuestran un muy buen nivel de confianza en la operación del sistema.

Por lo que se refiere a los objetivos de la investigación, se propuso diseñar un sistema que permitiera ahorrar energía eléctrica, lo que se logró hasta un nivel de prototipo funcional, pudiendo comprobar su funcionamiento mediante la Prueba 1 (Principio de operación) y la Prueba 2 (Ahorro energético). El sistema debía, según lo planteado, permitir su fácil instalación y operación por la población de nivel medio, lo que ha quedado contestado y explicado, con la mencionada salvedad de la fase de instalación.

El objetivo complementario implicaba una forma de trabajo transdisciplinaria que permitiera incorporar aportes de campos disciplinares diversos, lo que se cumplió desde el inicio de la investigación si se observan la definición del problema, la esquematización de los alcances, la secuencia de capítulos del Marco teórico-contextual y el hecho de contar con el sistema a nivel de prototipo funcional cuando el trabajo exclusivo de diseño hubiera consistido normalmente en recibir la electrónica terminada y la carpeta descriptiva de la población objetivo, y entregar a partir de ello las envolventes y la interfaz humana.

Esta investigación requirió de mucho más que eso, y permitió desde una problematización de diseño, participar de los campos como los de energía y de electrónica para conseguir un resultado que permite afirmar que es posible y viable la

transferencia de tecnología mediante la apropiación tecnológica sin infringir patentes, lo que se considera una aportación mayor de esta investigación.

Por lo que se refiere a los objetivos parciales, sí se logró definir un principio de operación viable para el sistema, logrando el ahorro de energía eléctrica buscado. Dicho principio efectivamente se probó, se diseñó una interfaz para el sistema, logrando un adecuado nivel de usabilidad, y se diseñaron las envolventes que en su conjunto permitieron a los sujetos de prueba comprender y operar adecuadamente el sistema, por lo que se consideran cumplidos todos los objetivos parciales.

La siguiente etapa, posterior a esta investigación debería consistir en obtener el financiamiento necesario para producir el producto de serie, lo que permitiría realizar las pruebas que quedaron pendientes, y trazar el necesario plan de negocios que hiciera factible la producción y distribución del sistema. Dichas fases, sin embargo, van más allá de los alcances planteados para la investigación, y habrá de decidirse si un nuevo equipo de trabajo podrá hacerse cargo de ellas.

No obstante lo anterior, el desarrollo alcanzado permitiría mostrar en funcionamiento el sistema para interesar a gente de los sectores público y privado, lo que podría redundar en el aprovechamiento del sistema precisamente para ponerlo a disposición de la población objetivo, e inclusive permitiría poner a la vista factores importantes a considerar en la automatización de viviendas nuevas, lo que podría traducirse posteriormente en un elemento tecnológico a incluir en las políticas públicas de vivienda, lo que permitiría incrementar aún más la aportación posible y por consiguiente el ahorro energético. Por supuesto, existen muchos factores que inciden en el ahorro energético, pero la situación actual ha demostrado que es necesario considerar cada uno de los factores posibles para obtener un beneficio concreto y que en la suma de factores permiten el ahorro real, en lugar de concentrar los esfuerzo en un único factor que permita un resultado cuantitativamente mayoritario, como se prefería en décadas anteriores.

Otra oportunidad importante que puede aprovecharse a futuro es la escalabilidad del sistema, pues la tecnología seleccionada permite incorporar dispositivos sensores y de automatización si así se deseara, por lo que el desarrollo alcanzado hasta el momento no está limitado al ahorro de energía, sino que puede combinarse con muchas otras aplicaciones que permitan diferentes niveles de automatización y de desarrollo domótico según lo que se requiera.

Es importante también mencionar aquí que las iniciativas de diseño tecnológico tienen siempre una ventana de aprovechamiento, es decir, la posibilidad de beneficiarse de una propuesta tecnológica existe mientras el contexto para el que se generó lo permita. De esta manera, es posible prever que a futuro las viviendas tenderán a incorporar sistemas de ahorro de energía, se incorporarán sistemas diseñados para el ahorro desde la construcción misma de la vivienda social (algo que ya ocurre en estos momentos), y se harán más accesibles los sistemas de ahorro. Dado lo cual, la vigencia de esta propuesta tenderá a declinar con los años, puesto que está dirigida principalmente a viviendas ya construidas que en su diseño no consideraron la incorporación de tales sistemas. Era, sin embargo, necesario atender ese segmento, que en las ciudades de México es mayoritario, si se busca una participación activa en el ahorro energético en lugar de esperar años hasta que la tecnología sea accesible para todos los niveles socioeconómicos.

La experiencia hasta aquí obtenida permite, además, hacer un llamado a los investigadores en diseño, para valorar aspectos como la transferencia de tecnología, la apropiación tecnológica, la investigación y el desarrollo transdisciplinares, así como las oportunidades para aplicar investigación que la situación social del país requiere.

Si hemos de lograr que el país se desarrolle, resulta de la mayor importancia reflexionar y trabajar en los aspectos mencionados. Sirva esta investigación como un modesto ejemplo de ello, realizado desde la pasión que el descubrir y aplicar conocimiento genera en el autor.

FUENTES CONSULTADAS

1. AGUIRRE TAMEZ, María. 2004. *Diseño: Conocer y Crear. Modelo para el diseño de objetos basado en la interacción de procedimientos racionales y creativos*. México: Universidad La Salle, Tesis doctoral.
2. AKSHOY RANJAN, Paul, Roy PIJUSH, and Mukherjee SANCHAYAN. 2005. *Mechanical Sciences: Engineering Mechanics and Strength of Materials*. New Delhi: Prentice Hall of India.
3. AMAI. 2009. *Nivel socioeconómico AMAI*. [online].
4. AMAI. 2011. *Niveles socioeconómicos. Actualización a la regla de medición de NSE en México (8x7) Septiembre 2011*. [online]. [Accessed 20 May 2012]. Available from World Wide Web: < [://www.amai.org/niveles.php](http://www.amai.org/niveles.php) >
5. BOFF, K. R., L. KAUFMAN, and J.P. THOMAS. 1986. *Handbook of Perception and Human Performance: Sensory Processes and Perception, Cognitive Processes and Performance*. Hoboken: Wiley.
6. BRAND, F., F. SCHALL, and H. VÖLKER. 2004. *Transdisziplinarität. Bestandsaufnahme und Perspektiven*. Göttingen: Göttingen Universitätsverlag.
7. BTICINO. 2010. *BTicino - A Leading company in innovation, quality, technology and design*. [online]. [Accessed 28 Mar 2010]. Available from World Wide Web: <www.bticino.com/>
8. BÜRDEK, Bernhard E. 1994. *Diseño. Historia, teoría y práctica del diseño industrial*. Barcelona: Gustavo Gili.
9. CENTER FOR A WORLD IN BALANCE. 2009. *Center for a world in balance. Our Common Future(1987): Report of the WCED*. [online]. [Accessed 9 Jun 2009]. Available from World Wide Web: <<http://www.worldinbalance.net/agreements/1987-bruntland.php>>
10. CONESA, V. 1997. *Los instrumentos de la gestión ambiental en la empresa*. Madrid: Mundi-Prensa Libros.
11. COP15. 2009. *United Nations Climate Change Conference, Copenhagen 2009*. [online]. [Accessed 12 Jul 2009]. Available from World Wide Web: <<http://en.cop15.dk/>>

12. COSTA, Joan. 1998. *La esquemática*. Barcelona: Gustavo Gili.
13. COSTA, Joan. 2003. *Diseñar para los ojos*. La Paz: Grupo Design.
14. CRESTRON. 2010. *Crestron Electronics: Home Automation, Building and Campus Control*. [online]. [Accessed 16 Feb 2010]. Available from World Wide Web: <<http://www.crestron.com/default.asp> >
15. DESTINATION 2006. International Conference of Design on Sustainability. Reporte final de actividades de la conferencia.
16. DOSI, Giovanni. 1982. Technological paradigms and technological trajectories. A suggested interpretation of the determinants and directions of technical change. *Research Policy*. **11**(3), pp.147-162.
17. DOSI, G., Freeman, C., Fabiani, S. 1994. The Process of Economic Development: Introducing Some Stylized Facts and Theories on Technologies, Firms and Institutions. *Industrial and Corporate Change*. **3**(1).
18. EC-JRC-IE. 2009. European Commission - Joint Research Centre, Institute of Energy. *End-use energy efficiency activities at the European Commission JRC*. [online]. [Accessed 29 Oct 2011]. Available from World Wide Web: <[://re.jrc.ec.europa.eu/energyefficiency/](http://re.jrc.ec.europa.eu/energyefficiency/) >
19. ENRÍQUEZ HARPER, Gilberto. 2008. *Manual de instalaciones eléctricas residenciales e industriales*. México: Limusa.
20. FIDE. 2011. Fideicomiso para el ahorro de energía eléctrica. *Energía en espera*. [online]. [Accessed 18 Jan 2012]. Available from World Wide Web: <[://portal.fide.org.mx:8000/index.php?option=com_content&view=article&id=146:energia-en-espera&catid=65:consejos-de-ahorro&Itemid=235](http://portal.fide.org.mx:8000/index.php?option=com_content&view=article&id=146:energia-en-espera&catid=65:consejos-de-ahorro&Itemid=235) >
21. FRUTIGER, Adrian. 2002. *Signos, símbolos, marcas, señales*. Barcelona: Gustavo Gili.
22. FULLER, R. Buckminster. 1979. *Synergetics. Explorations in the geometry of thinking*. Macmillan Publishing.
23. FULLER ESTATE. 1997. *Synergetics*. [online]. [Accessed 18 Jun 2010]. Available from World Wide Web: <www.rwgrayprojects.com/synergetics/toc/print/toc.pdf >
24. GARCÍA CHÁVEZ, J. R. et al. 2001. *Introducción a la Arquitectura Bioclimática*. México: Limusa.

25. GARCÍA CHÁVEZ, J. R. 2004. Integración de Estrategias Bioclimáticas para Obtención de Confort Térmico y Lumínico en Edificaciones Comerciales. *Memorias de ANES*, México.
26. GARCÍA CHÁVEZ, J. R. 2002. Estrategias para el Aprovechamiento de la Luz Natural e Integración con Iluminación Eléctrica en Edificaciones en Climas Cálidos para Ahorro de Energía y Confort Lumínico. *Memorias de ANES*, México. pp 207-212.
27. GARCÍA OLVERA, Francisco. 1996. *Reflexiones sobre el Diseño*. México: UAM-A.
28. GRANBERG, A. y Stankiewicz, R. 1981. The Development of Generic Technologies - The Cognitive Aspects. In: O. y Sigurdson, J. GRANDSTRAND, (ed). *Technological and Industrial Policy in China and Europe*, Lund: Research Policy Institute, pp.196-224.
29. GREEN DESIGN INSTITUTE. 2009. *Carnegie Mellon University: Green Design Institute*. [online]. [Accessed 12 Jun 2009]. Available from World Wide Web: < <http://www.ce.cmu.edu/GreenDesign/index.html> >
30. GREENSWITCH. 2004. *GreenSwitch*. [online]. [Accessed 30 Jan 2010]. Available from World Wide Web: <<http://international.greenswitch.tv/index.cfm?country=Mexico&continent=North%20America> >
31. HESKETT, John. 2005. *El diseño en la vida cotidiana*. Barcelona: Gustavo Gili.
32. INSTEON. 2010. *INSTEON - Wireless Home Control Solutions for Lighting, Security, HVAC, and A/V Systems*. [online]. [Accessed 05 Feb 2010]. Available from World Wide Web: <<http://www.insteon.net/> >
33. IPCC. 2012. *IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change*. [online]. [Accessed 15 May 2012]. Available from World Wide Web: [://www.ipcc.ch/](http://www.ipcc.ch/)
34. ISO. 2004. *International Organization for Standardization: ISO 14000 essentials*. [online]. [Accessed 6 Jun 2009]. Available from World Wide Web: <http://www.iso.org/iso/iso_14000_essentials >
35. ISO. 2009. *International Organization for Standardization*. [online]. [Accessed 15 May 2012]. Available from World Wide Web: < [://www.iso.org/](http://www.iso.org/) >

36. KRUG, Steve. 2006. *No me hagas pensar*. Madrid: Pearson Educación.
37. KUHN, Thomas S. 1970. *The Structure of Scientific Revolutions*. Chicago: University of Chicago Press.
38. LAMBERT, Charles. 1999. *Instalaciones eléctricas en la vivienda*. México: Alfaomega marcombo.
39. LEFCOURT, Herbert M. 1982. *Locus of Control: Current Trends in Theory and Research*. Hillsdale: Lawrence Erlbaum Associates.
40. LIDWELL, William, Kritina HOLDEN, and Jill BUTLER. 2010. *Universal principles of design*. Beverly, Massachusetts: Rockport Publishers.
41. MANZINI, E. and F. JÉGOU. 2003. *Sustainable everyday. Scenarios of urban life*. Edizioni Ambiente.
42. MASCHKE, B.M. y van der Schaft, A.J. 1996. Interconnection of systems: the network paradigm. *In: Laboratoire d'Automatisme Industriel - CNAM / Dept. of Applied Mathematics - Univ. of TWENTE, (ed). Proceedings of the 35th Conference on Decision and Control*. Kobe: IEEE Decision and Control, pp.207-212.
43. MCDONOUGH, W. and M. BRAUNGART. 2002. *From cradle to cradle: Remaking the way we make things*. New York.
44. MEADOWS, D., D. MEADOWS, J. RANDERS, and W. BEHRENS. 1972. *The limits to growth*. New York: Universe Books.
45. MOGGRIDGE, Bill. 2007. *Designing Interactions*. Cambridge, Massachusetts: MIT Press.
46. MORIN, Edgar. 2001. *Los siete saberes necesarios para la educación del futuro*. México: El Correo de la UNESCO.
47. MORIN, Edgar. 2008. *On Complexity*. New York: Hampton Press.
48. MUNARI, Bruno. 2000. *¿Cómo nacen los objetos?* Barcelona: Gustavo Gili.
49. MUNARI, Bruno. 2005. *Diseño y comunicación visual*. Barcelona: Gustavo Gili.
50. NICE S.P.A. - HOME AUTOMATION. 2009. *Nice*. [online]. [Accessed 10 Mar 2010]. Available from World Wide Web: < <http://www.niceforyou.com/> >

51. NICOLESCU, Basarab. 2002. *Manifesto of Transdisciplinarity*. New York: State University of New York Press.
52. NICOLESCU, Basarab (ed). 2008. *Transdisciplinarity: Theory and Practice*. New York: Hampton Press.
53. NORMAN, Donald A. 2005. *Emotional design. Why we love (or hate) everyday things*. Cambridge: Basic Books.
54. NORMAN, Donald A. 202. *The design of everyday things*. New York: Basic Books.
55. PEINE, Alexander. 2006. *Technological Paradigms Revisited. How they contribute to the understanding of open systems of technology*. Berlin.
56. PEMEX. 2009. *Anuario Estadístico 2009*.
57. PRO-COMM. 2010. *Protection & Communications Inc.* [online]. [Accessed 26 Feb 2010]. Available from World Wide Web: <<http://www.pro-comm-online.com/What%27sNew/Lutron.htm> >
58. ROMERO, C., Vázquez, F., y Castro, C. de. 2005. *Domótica e Inmótica*. México: Alfaomega Ra-Ma.
59. SÁNCHEZ VÁZQUEZ, Adolfo. 1973. *Filosofía de la praxis*. México: Grijalbo.
60. SEAL THE DEAL. 2009. *Seal the Deal 2009 - Climate Conference*. [online]. [Accessed 11 Jun 2009]. Available from World Wide Web: <<http://www.sealthedeal2009.org> >
61. SHNEIDERMAN, Ben and Catherine PLAISANT. 2006. *Diseño de interfaces de usuario. Estrategias para una interacción persona-computadora efectiva*. Madrid: Pearson Educación.
62. SIE–SENER. 2010. *Sistema de Información Energética – Secretaría de Energía*. México. [online]. [Accessed 20 May 2012]. Available from World Wide Web: < [://sie.energia.gob.mx/](http://sie.energia.gob.mx/) >
63. STERN, N. 2006. *H.M. Treasury, United Kingdom of the Great Britain: Stern Review on the economics of climate change*. [online]. [Accessed 6 Jun 2009]. Available from World Wide Web: < http://www.hm-treasury.gov.uk/stern_review_report.htm >

64. TULLIS, Tom and Bill ALBERT. 2008. *Measuring the user experience*. Burlington: Morgan Kaufmann.
65. UN. 2010. *United Nations Environment Programme*. [online]. [Accessed 8 Jun 2011]. Available from World Wide Web: < <http://www.unep.org/> >
66. UN-D. 1987. *United Nations Documents. Report of the world Commission on Environment and Development: Our Common Future*. [online]. [Accessed 10 Jun 2009]. Available from World Wide Web: <<http://www.un-documents.net/wecd-ocf.htm> >
67. UNFCCC. 1997. *Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change*. [online]. [Accessed 31 Aug 2012]. Available from World Wide Web: < [://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpeng.html](http://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpeng.html) >
68. UNEP - UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. 2010. *Sustainability Communications: A Toolkit for Marketing and Advertising Courses*. [online].
69. UNITED KINGDOM CARBON TRUST. 2009. *Carbon Trust*. [online]. [Accessed 3 Dec 2009]. Available from World Wide Web: < <http://www.carbontrust.co.uk/> >
70. VIP SYSTEMS. 2009. *VIP Systems*. [online]. [Accessed 12 Mar 2010]. Available from World Wide Web: < http://www.vipsystems.us/?page_id=13 >
71. X10 PRO. 2007. *X10 PRO Online*. [online]. [Accessed 30 Jan 2010]. Available from World Wide Web: < <http://www.x10pro.com/> >

Formación Académica

Licenciatura en Diseño de la Comunicación Gráfica (1999)
Universidad Autónoma Metropolitana, unidad Azcapotzalco.

Especialización en Diseño (2004)
línea de investigación de Nuevas Tecnologías, Opción Hipermedios
Universidad Autónoma Metropolitana.

Maestría en Diseño (2006)
Línea de investigación de Nuevas Tecnologías,
Universidad Autónoma Metropolitana, unidad Azcapotzalco.

Doctorado en Diseño (2012)
Líneas de investigación de Nuevas Tecnologías y Arquitectura Bioclimática.
Universidad Autónoma Metropolitana, unidad Azcapotzalco.

Experiencia Docente

2004 a la fecha colabora con el Posgrado en Diseño de la UAM-Azcapotzalco impartiendo asignaturas como los Talleres de Diseño I, II y III, Modelado Tridimensional, y los Seminarios de Tecnología y de Metodología en la Especialización en Diseño, Línea de Nuevas Tecnologías, Opciones Hipermedios y CAD/CAM. Se realiza también la asesoría y dirección de tesis de especialización y de maestría.

2005 a la fecha colabora con el Departamento de Diseño de la Universidad Iberoamericana, Ciudad de México, impartiendo asignaturas en las Licenciaturas en Diseño Interactivo, Diseño Gráfico, Diseño Industrial y Comunicación. Las asignaturas que desde entonces se han impartido en dicha institución son las siguientes: Diseño Interactivo I y II, Seminario de Opción Terminal de Diseño, Laboratorio de Creatividad Digital, Computación para Fotografía, Diseño Web y Tecnología Digital para el Diseño.

2008 a la fecha labora en el Departamento de Medio Ambiente de la División de Ciencias y Artes para el Diseño de la UAM-Azcapotzalco, impartiendo asignaturas en la Licenciatura en Diseño de la Comunicación Gráfica, tales como Sistemas Integrales I, II y III; Sistemas de Signos en Medios Electrónicos; Animación Digital y Multimedia. Desde 2012 es miembro del Grupo de Investigación del Color.

Experiencia Laboral

En el área profesional se han realizado trabajos como free-lance en diseño de 1997 a la fecha, incluyendo campos como el diseño de imagen corporativa; diseño editorial; diseño multimedia; diseño y renderización de mobiliario y espacios interiores (como diseñador y como consultor empresarial); fotografía analógica y digital de arquitectura, producto y paisaje; diseño web.

Datos de contacto

Correo electrónico: xurod@yahoo.com
Teléfono institucional: 5318-9187